

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie**

Návrh technologie svařování membrán

Project of Membrana Welding Technology

Student:

Bc. Jakub Trnečka

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Drahomír Schwarz,Csc.

Ostrava 2009

## PODĚKOVÁNÍ

*Rád bych využil této příležitosti a vyjádřil své poděkování Doc. Ing. Drahomíru Schwarzovi, CSc. za jeho cenné připomínky a informace v rámci zpracování této diplomové práce.*

*Rovněž bych rád poděkoval Ing. Xenii Ševčíkové za zajišťování odborné literatury a pomoc při provádění experimentálních zkoušek v prostorách Vysoké školy báňské.*

*Děkuji.*

## 1 Prohlášení studenta

**Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.**

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Jakub Trnečka

Mostkovice 543

798 02

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

TRNEČKA, J. *Návrh technologie svařování membrán*. Ostrava: katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 71s. Diplomová práce, vedoucí: Schwarz, D.

Diplomová práce se zabývá problematikou svařování membrány, která je součástí termické vložky parního odvaděče. V úvodní části je uveden význam a princip činnosti přivařených membrán. První část je věnována návrhu metod svařování a jejich studii. Další část diplomové práce se zabývá metodikou hodnocení provedených svarových spojů. Dále je navrhována konstrukční úprava a způsoby svařování po této úpravě včetně návrhu polohování při svařování. Závěrečná část diplomové práce se zabývá hodnocením svarových spojů z hlediska pracovního zatížení a diskuzí dosažených výsledků.

Navržené metody svařování a metody zkoušení svarových spojů byly ověřeny na reálných svarových spojkách.

## **ANNOTATION OF THESIS**

TRNEČKA, J. *Project of Membrana Welding Technology*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 71 p. Thesis, head: Schwarz, D.

The thesis deals with the question of Membrana Welding, membrana which is the part of thermic filler of a steam trap. The introductory part describes significance and principles of weld-up membranas. The first part focuses on suggested techniques of welding and their studies. The following part of the thesis describes assessment methodology of performed weld-joints. Construction adjustment is suggested and the techniques of welding after adjustment are proposed, including the proposal of positioning during the process of welding. Concluding part of the thesis deals with the assessment of weld-joints and discusses the achieved results. Suggested welding techniques as well as the testing methods of weld-joints were proved on existing weld-joints.

## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

veličina	jednotka	popis
TIG	-	Tungsten Inert Gas
WIG	-	Wolfram Inert Gas
GTAW	-	Gas Tungsten Arc Welding
Ar	-	Argon
He	-	Helium
A <sub>5</sub>	[%]	tažnost
DT	-	destruktivní zkoušení
EN	-	Evropské normy
HV	-	tvrdost podle Vickerse
I	[A]	elektrický proud
ISO	-	Mezinárodní organizace pro normalizaci
NDT	-	nedestruktivní zkoušení
PA	-	svařovací poloha
PT	-	kapilární zkouška (penetrační)
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
SK	-	svarový kov
TOO	-	teplotně ovlivněná oblast
U	[V]	napětí
VT	-	vizuální kontrola
ZM	-	základní materiál

# 1. ÚVOD

**Membrána** – je charakterizována jako tenká, planární struktura nebo materiál, která tvoří rozhraní mezi prostředími, která navzájem odděluje. Pro membrány je typická pružnost a obvykle také schopnost selektivní propustnosti pro některé látky z jednoho prostředí skrze membránu do druhého. Často funguje jako neprostupná bariéra a to nejen vůči proti prostupnosti látek, ale třeba také el. nábojů, tj. el. proudu.

V našem případě se jedná o nepropustnou membránu tvořenou velmi tenkým plechem cca 0,2 mm, která je součástí termického odvaděče parního kondenzátu vyvinutého firmou KOMO.

Naším úkolem bylo navrhnout pevné nerozebíratelné spojení membrány se základním tělesem pomocí svarového spoje, které bude zároveň nepropustné a bude odolávat vyšším teplotám a tlakům než doposud.

## 1.1. Prezentace firmy

Firma KOMO byla založena v roce 1992. Jejím hlavním programem byla výroba a prodej jednoho typu termického odvaděče parního kondenzátu, který je charakteristický originálním systémem uzavírání bez použití mechanických dílů.

V následujících letech firma postupně rozšířila svůj sortiment výrobků a služeb. Dnes nabízí několik typů termických odvaděčů parního kondenzátu, termodynamické odvaděče a mezipřírubové zpětné ventily.

Firma KOMO má svůj vývoj i konstrukci, což zaručuje výrobu produktů vysoké kvality. Všechny výrobky jsou patentem majitele firmy. Pro všechny své výrobky firma poskytuje servis ve svých výrobních prostorách, nebo v servisních střediscích v ČR i v zahraničí. Firma KOMO nabízí svým zákazníkům také diagnostiku kondenzačního systému včetně okamžitého a efektivního řešení problémů. Kromě hlavního výrobního programu se firma zabývá také prodejem speciální měřicí techniky a distribucí jiných průmyslových armatur.

Dále si firma ve svém oboru vybudovala významné postavení na trhu v ČR i v zahraničí. Vytvořila si zastoupení na Slovensku, v Polsku, Makedonii a Jugoslávii. Nové pozice si společnost buduje i v jiných zemích. Strategií společnosti je vyvíjet, vyrábět a dodávat

výrobky nejvyšší kvality na domácích i zahraničních trzích. Naslouchat zákazníkům a pružně reagovat na jejich požadavky. [16]

## **2. TERMICKÉ ODVADĚČE PARNÍHO KONDENZÁTU SYSTÉMU KOMO**

Termické odvaděče parního kondenzátu KOMO jsou určeny pro široké použití všude tam, kde je potřeba odvádět parní kondenzát od parních spotřebičů jako jsou například teplovzdušné soupravy, výměníky, duplikátory, varné kotle, sušárny, radiátory atd. Jsou výhodně použitelné k odvodňování přehřáté páry. [16]

*MAXIMÁLNÍ PARAMETRY : TEPLOTA 260°C, TLAK 3,2 MPa*

### **2.1. Hlavní přednosti**

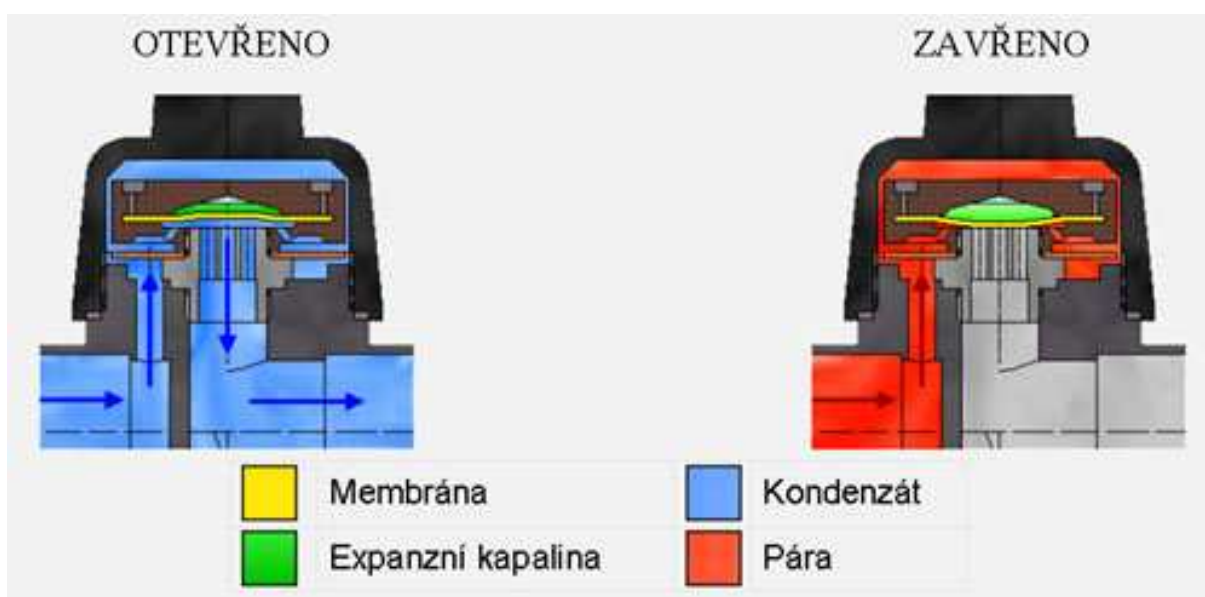
- vysoký výkon
- malý rozměr vzhledem k výkonu
- spolehlivost a vysoká účinnost i ve velmi těžkém provozu
- vysoká životnost v porovnání s plovákovými odvaděči
- libovolná pracovní poloha
- uzavírá vstup i výstup kondenzátu, čímž je dosaženo úplného uzavření odvaděče
- odolnost proti mrazu a vůči kolísání teploty a tlaku
- velmi rychlé odvzdušňování najížděného parního řádu
- možnost připojení odvaděče do protitlaku
- jednoduchá montáž a údržba
- až 20% úspora tepelné energie

### **2.2. Všeobecný popis činnosti**

Termické odvaděče parního kondenzátu KOMO jsou termické membránové odvaděče , vybavené plošným membránovým ventilem, který tvoří elastická membrána a přepouštěcí základna. Nad membránou je umístěna miska s těkavou expanzní kapalinou. V chladném



stavu protéká kondenzát pod membránou do výstupních otvorů v přepouštěcí základně. K uzavření průtoku dojde v okamžiku, kdy tlak par expanzní kapaliny je vyšší než tlak parního kondenzátu. Odvaděč začne plnit svoji funkci po vyrovnání teploty s teplotou odváděného kondenzátu, což při nájezdu ze studeného stavu trvá obvykle 10-90 sec. Po vyrovnání teplot (prohřátí těla odvaděče) je reakční doba 3-12 sec. v závislosti na velikosti teplotní a tlakové změny v systému. Vlastní uzavření se děje po celé ploše membrány a z tohoto důvodu náhodně vyskytující se nečistoty do průměru 2 mm neohroží funkci odvaděče. Tato vlastnost je spolu s dokonalým uzavřením jeho největší předností. [16]



**Obr. 1** Princip činnosti termického odvaděče [16]

## 2.3. Všeobecné provozní vlastnosti a požadavky

### 2.3.1. Požadavky na čistotu odváděného kondenzátu

Mechanické nečistoty do průměru 1 mm z poddajného nelepivého materiálu jako je rez apod., které se vyskytují ojediněle, nezhoršují funkčnost odvaděče. [16]

### 2.3.2. Odolnost vůči krátkodobému zvýšení tlaku

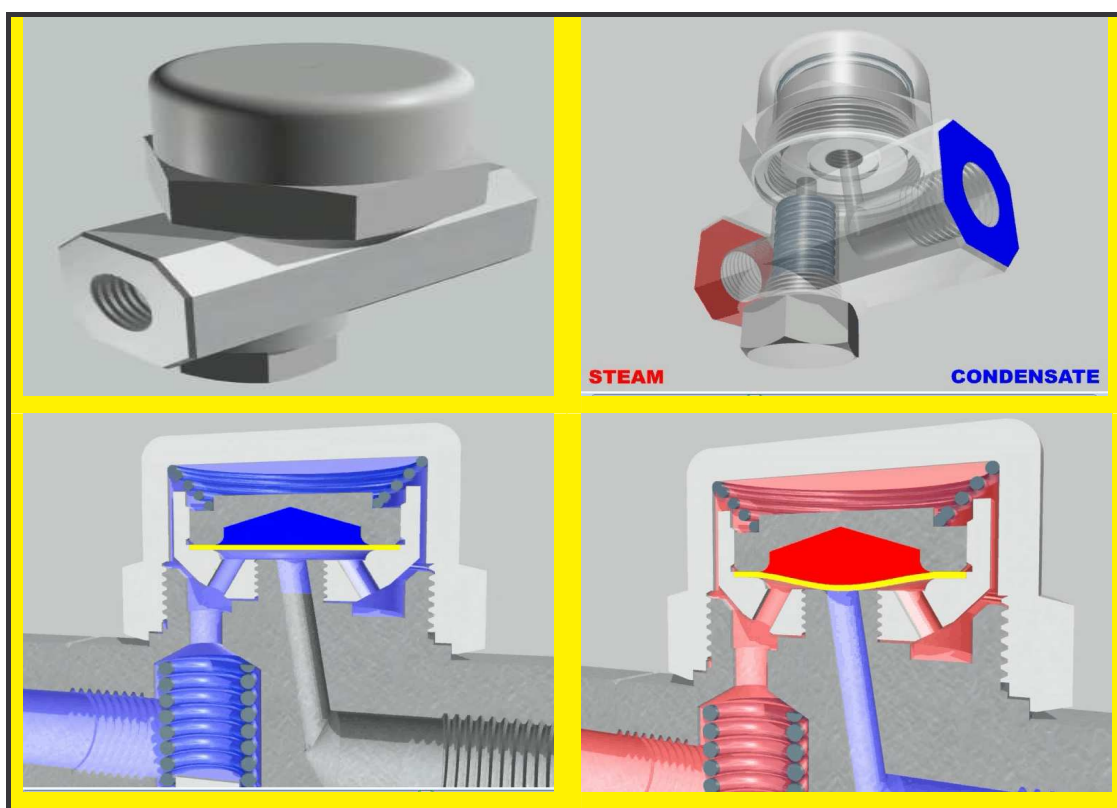
Těleso odvaděče je výrobcem zkoušeno na tlak 4,0 MPa (6 MPa), krátkodobé zvýšení tlaku na tuto hodnotu neporuší funkčnost odvaděče. [16]

### 2.3.3. Maximální pracovní teploty

Odvaděče KOMO lze vzhledem k materiálu membrány používat v systémech s teplotou do 260 °C (max.teplota před odvaděčem). [16]

### 2.3.4. Citlivost odvaděčů na mráz

Při náhodném zamrznutí u odvaděčů KOMO (mimo řady KOMO 6 Midi) nedojde k poškození těla odvaděče ani ke změně funkce. Nicméně není doporučeno nechat odvaděče zamrznout, protože může dojít k destrukci přívodního a odvodního potrubí, eventuálně k poškození těsnění. [16]



**Obr. 2** Schematické zobrazení termického odvaděč KOMO 4 MIDI v procesu [16]

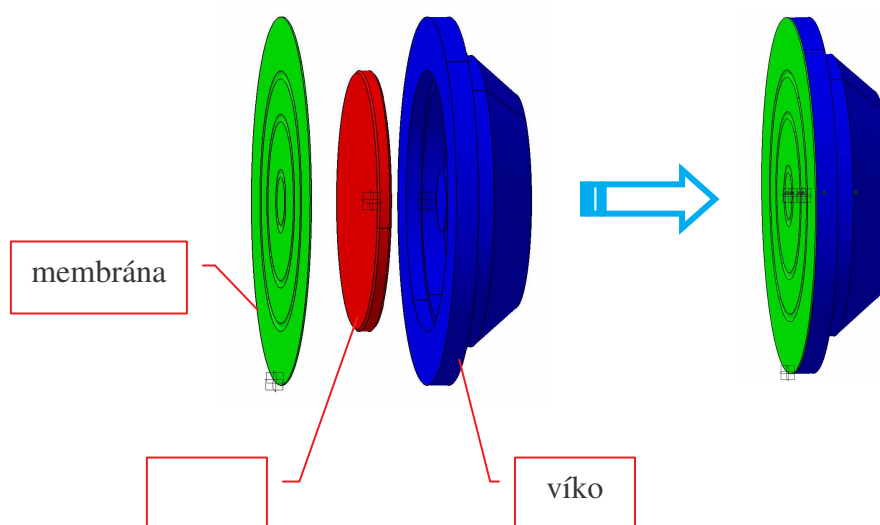
### 3. NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ MEMBRÁN

*Navrhnuté technologie svařování membrány:*

**A) Svařovací technologie TIG** (Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu)

**B) Svařování mikroplazmou**

Naším úkolem bylo přivařit ocelovou membránu o tloušťce 0,2 mm k základnímu tělesu. Tato měla nahradit dříve používanou teflonovou membránu. Firma KOMO byla nucena zesílit tloušťku této membrány z důvody zařazení vyšších provozních teplot a tlaků. Schematické zobrazení termické vložky je vyobrazen na následujícím obrázku 3.



**Obr. 3** Schematické zobrazení termické vložky odvaděč

Firmou KOMO byly také prováděny pokusy přitlačit membránu k tělesu pomocí těsnícího kroužku, ale bohužel s nevyhovujícím výsledkem. Docházelo k netěsnostem a s tím spojenému uniku expanzní kapaliny.

### **3.1. Studie svařovací technologie TIG (141)**

#### **3.1.1. Trendy rozvoje svařování v ochranné atmosféře plynů**

Svařování v ochranné atmosféře plynů stále patří k dynamicky se rozvíjejícím výrobním technologiím s velkým množstvím využití automatizace a robotizace. Inovace obloukových procesů svařování v ochraně plynů jsou dnes založené na studii [2]:

- nových poznatků v oblasti fyziky oblouku a možnostech modelování svařovacího procesu
- snímačů a procesových veličin, které poskytují informace o svařovacím procesu a jeho průběhu
- elektroniky a počítačové techniky, které tyto informace umožňují využívat a realizovat

Specifikace fyziky svařovacího oblouku a složitost metalurgie svařovacího procesu zapříčiňují, že se jen pomalu daří odhalovat potřebné zákonitosti tohoto procesu svařování. Důležitým krokem k rozvoji svařování v ochraně plynů jsou proto nové poznatky z oblasti fyzikálních i metalurgických dějů. Nové výpočtové prostředky stále víc umožňují používat modelování, vypočítat mnohé veličiny s významným praktickým dopadem a tak doplnit výsledky experimentů. Tyto poznatky se s úspěchem používají pro řízení přenosu kovu přes oblouk, zvyšování stability procesu, zvyšování kvality svarů, při řešení adaptivního řízení automatického svařování, při vývoji nových přídavných materiálů, atd.

Také rozvoj elektroniky výrazně ovlivnil vývoj a uplatnění nových zdrojů proudu, které se stali dominantou kvalitativních změn při obloukovém svařování v ochraně plynů. Mikroprocesorové řízení invertorového zdroje zaručuje lepší dynamiku procesu a vyšší rychlost řízení zpětnou vazbou, s možností dialogu obsluhy se strojem. Programové jednotky umožňují kontrolu a změnu všech parametrů vyplívajících z procesu svařování. Získá se tak výborný nástroj na řízení přenosu kovu z elektrody do svařovací lázně.

Výrazný rozvoj se dosahuje i v automatizaci celého procesu svařování. Automatizované obloukové svařování v ochranné atmosféře plynů se uplatňuje i při komplikovaných konstrukcích a velkorozměrových svařenců. [2]

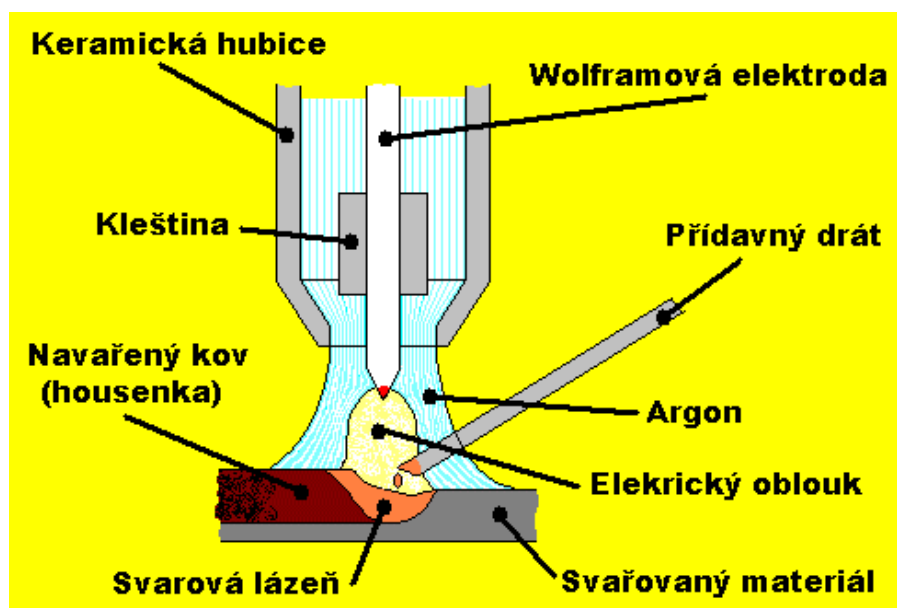
Přestože se TIG svařování začíná prosazovat v masovém měřítku až v posledních 15 - 20 letech, nejedná se o žádnou novinku. Tuto metodu svařování totiž vynalezl jistý Russell Meredith pracující v Northrop Aircraft Company v USA. [3]

Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu se uplatňuje v současné době ve všech oborech svařovaných konstrukcí a technických zařízení. Jeho podíl využití se neustále zvětšuje, neboť proti jiným technologiím svařování má mnohé výhody. [1]

Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu se označuje dle ČSN EN 24 063: **TIG** (Tungsten – Inert – Gas) v anglosaských zemích, **WIG** (Wolfram – Inert – Gas) v německých zemích a **GTAW** (Gas – Tungsten – Arc – Welding) v amerických zemích.[4]

### 3.1.2. Princip metody

Princip obloukového svařování netavící se elektrodou v inertním plynu spočívá ve vzniku a hoření elektrického oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem, přičemž je svarová lázeň, elektroda a nejbližší okolí svaru chráněno inertním plynem před účinky okolní atmosféry (hlavně kyslíku a dusíku ze vzduchu). Netavící se elektroda je čistě wolframová nebo s aktivní přísadou a jako ochranný inertní plyn se používá argon, helium, případně jejich směsi. [1]

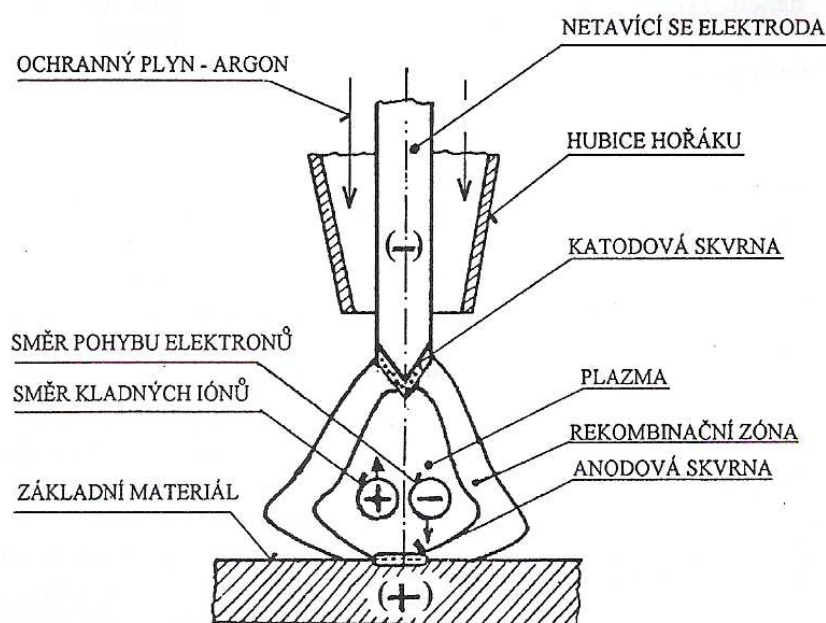


Obr. 4 Princip svařování TIG [3]

Zdrojem tepla při svařování touto metodou je elektrický oblouk. Místním natavením svarových ploch základního materiálu se vytváří svarová lázeň, která v dalším okamžiku tuhne a vytváří tak požadovaný nerozebíratelný spoj mezi spojovaným a základním materiálem. [1]

#### ○ Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je trvalý elektrický výboj ve vodivém (ionizovaném) prostředí mezi *katodou* (- pól) a *anodou* (+ pól). Podmínkou vzniku elektrického oblouku je elektrický proud o vyšších hodnotách než 0,3 A a tlak plynu (nejčastěji atmosférický). Elektrický oblouk se vyznačuje intenzivním zářením (ultrafialovým, viditelným, infračerveným) a vysokou teplotou (ve sloupci elektrického oblouku je teplota 6 až 10 tisíc °C). Popis elektrického oblouku při svařování metodou TIG je na obr. 5. [4]



**Obr. 5** Popis elektrického oblouku při svařování metodou TIG [4]

#### ○ Svařovací proud

Při svařování metodou 141 se využívá stejnosměrný proud konstantní velikosti nebo pulzující svařovací proud s přímou nebo nepřímou polaritou a nebo střídavý proud. Stejnosměrný proud a přímá polarita se při svařování touto metodou používají nejčastěji,

jelikož zajišťuje stabilní oblouk a dobré vlastnosti svarových spojů i u materiálů, které vytvářejí na povrchu vrstvu oxidů s teplotou tavení blízkou teplotě tavení základních materiálů, např. u svařování ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin. Stejnoseměrný proud a nepřímá polarita se používá jen ojediněle, neboť je velmi tepelně zatěžována netavicí se wolframová elektroda. [1]

U svařování kovů, které vytvářejí na povrchu vrstvu vysokotavitelných oxidů, např. hliník, hořčík a jejich slitiny, se používá střídavý proud, který zabezpečuje čistící účinek svařovacího oblouku na povrchu svařovaného materiálu.

Elektrický oblouk se může zapalovat dvojím způsobem:

- dotykově – dotykem wolframové elektrody o povrch svařovaného materiálu s následným rychlým oddálením na malou vzdálenost (zkratové zapálení oblouku)
- bezdotykově – pomocí vysokého napětí s vysokou frekvencí, jehož zdrojem je vysokofrekvenční ionizátor. Plyn se ionizuje a pak dojde k zapálení oblouku (bez zkratové zapálení oblouku)

Zcela přednostně používáme bezdotykového způsobu zapalování, jelikož při dotykovém způsobu by došlo ke znehodnocení wolframové elektrody a následně ke vzniku wolframových vměstků ve svarovém kovu. [1]

Foukání oblouku je určitá deformace svařovacího oblouku, která je vyvolána působením magnetických silových polí. Při svařování metodou TIG může foukání oblouku vzniknout:

- deformací magnetického pole na okrajích svarku
- nevhodným umístěním přívodu proudu
- přítomností feromagnetického materiálu
- dlouhým obloukem
- průvanem

Vlivem foukání oblouku může dojít k různým chybám například:

- ke vzniku studených spojů
- zápalů
- nepravidelné kresby
- neprovařeného kořene



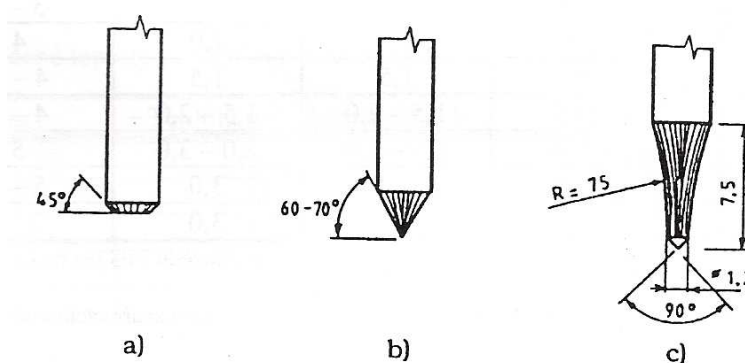
Foukání oblouku je možné zamezit:

- změnou sklonu svařovacího hořáku
- přemístěním svařovací svorky co nejblíže k místu svařování
- zvýšením stability oblouku
- pravidelným rozmístěním stehů

### 3.1.3. Netavící se elektrody

Při svařování metodou TIG se používají pouze netavící se elektrody. Jsou to tyčky kruhového průřezu, které jsou vyrobené z čistého wolframu nebo wolframu obohaceného o oxidy  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{LaO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ . Wolfram se užívá na výrobu elektrod a to především pro jeho vysokou teplotu tavení, která je  $3400\text{ }^\circ\text{C}$  a také jeho vysoké emisní schopnosti. Elektrody legované výše uvedenými oxidy, zvyšují emisi elektronů, což vede k zabezpečení klidného hoření el. oblouku, zvýšení trvanlivosti elektrod, zlepšení zapalování elektrody a výdrže vyššího proudového zatížení.

Volba typu elektrod závisí na druhu použitého proudu, oblasti použití a na požadované kvalitě svarového spoje. Konce elektrod se brousí nebo ve zvláštních případech leptají. Příklady zakončení legovaných wolframových elektrod v závislosti na druhu použitého proudu a způsobu svařování jsou na obr. 6. Povrch broušených elektrod musí být čistý, kovově lesklý, bez trhlin, rýh a ořepů. [1]



- a) pro ruční svařování střídavým proudem  
 b) pro ruční svařování stejnosměrným proudem  
 c) pro strojní svařování stejnosměrným proudem

**Obr. 6** Příklady zakončení elektrod [1]



### 3.1.4. Ochranné plyny

U svařování metodou TIG ochranné plyny především zabezpečují ochranu wolframové elektrody, tavné lázně a přilehlého základního materiálu před účinky okolní atmosféry. Zároveň mají vliv na tepelný výkon svařovacího oblouku, jeho zapálení a stabilitu po celý čas svařovacího procesu. Pro svařování vysokolegovaných ocelí se dnes používají inertní ochranné plyny jako je:

- argon (Ar)
- helium (He)
- nebo jejich směsi.

#### ○ Argon

Argon patří mezi inertní (netečné) plyny, tzn. že nereaguje s jinými chemickými prvky. Jeho chemická značka je Ar. Je to plyn bez barvy, chuti a zápachu a je těžší než vzduch. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu, neboť je v něm nejvíce obsažen. Má malou tepelnou vodivost a nízkou ionizační energii, a proto usnadňuje zapalování a stabilizaci elektrického oblouku.

Argon obsahuje těž nečistoty jako jsou dusík, kyslík, vodík a vlhkost, což má nepříznivý vliv na kvalitu spoje. Pro svařování metodou TIG se používá argon o vysoké čistotě, a to v rozmezí od 99,7 do 99,999 %. Argon s nejvyšší čistotou se musí používat pro materiály obzvláště citlivé na kyslík a dusík za nízkých teplot (od 200° C), neboť se tím snižuje nebezpečí zkřehnutí materiálu a vzniku trhlin. [1]

Argon s domácí produkce se dodává o čistotě:

- Ar 99,7 (značka 2N7)
- Ar 99,9 (značka 3N)
- Ar 99,95 (značka 3N5)
- Ar 99,98 (značka 3N8)

Pro svařování se používá jen argon 3N5 a 3N8. Argon 2N7 a 3N má nižší čistotu a používají se jen pro doplňkovou plynovou ochranu kořene svaru nebo částí základního materiálu, které jsou ohřáté na vysokou teplotu.

Označení argonu dle ČSN EN 439:    Ochranný plyn EN 439 – I1

I – označení pro inertní plyn

1 – identifikační číslo pro čistý argon

○ Helium

Helium tak jako argon patří mezi inertní plyny. Jeho chemická značka je He. Je to plyn bez barvy, chuti, zápachu a je lehčí než vzduch. Vyrábí se destilací vzduchu nebo štěpením zemního plynu. Má nízkou ionizační schopnost a vyžaduje dvakrát vyšší napětí svařovacího proudu, než při ochraně v argonu. Poskytuje vysoký tepelný výkon, a tím i vyšší rychlost svařovacího procesu. Elektrický oblouk se však obtížněji zapaluje, má horší stabilitu a hoří neklidně.

Čistota helia pro svařování se pohybuje od 99,996 % do 99,999 %. Nečistotami jsou ve většině případů další vzácné plyny. Helium se u nás nevyrábí, zabezpečuje se dovozem. Firma AGA dodává helium o čistotě 99,996 % (značka He 4,6) a o čistotě 99,999 % (značka He 5,0)

Svařování metodou TIG v čistém helium se používá jen v omezeném rozsahu, jeho pozitivní vlastnosti se využívají téměř vždy s kombinací s argonem. [1]

Označení helia dle ČSN EN 439:    Ochranný plyn En 439 – I2

I – inertní plyn

2 – identifikační číslo pro čisté helium

○ Směs argon – helium

Směs argonu a helia tvoří samostatnou skupinu inertních plynů. Množství obsahu helia se pohybuje od 1 do 95 %. Se stoupajícím obsahem helia se zvyšuje napětí na oblouku, a tím roste tepelný výkon oblouku. Z uvedeného důvodu můžeme použít vyšší svařovací rychlost, což příznivě ovlivní produktivitu práce. Směs argonu a helia se dále používají pro svařování materiálů o větších tloušťkách a materiálů s vysokou tepelnou vodivostí. [1]

Při svařování TIG se nejčastěji používají tyto směsi Ar + He:

- 70/30 (70 % Ar + 30 % He)
- 50/50 (50 % Ar + 50 % He)

- 30/70 (30 % Ar + 70 % He)

### 3.1.5. Přídavné materiály

Pro svařování v ochranném plynu se přídavný materiál volí podle chemického složení základního materiálu, mechanických vlastností základního materiálu, požadovaných vlastností svarového spoje a typu svarového spoje. Při volbě se vždy snažíme vycházet z požadavku, že svarový spoj musí mít stejné nebo lepší vlastnosti jako základní materiál. Pro dynamicky namáhané konstrukce z oceli je třeba volit přídavný materiál, který vytvoří svarový kov o jednu řadu vyšší pevnosti, než má základní materiál.

Svařovací drát je souhrnné označení pro přídavný materiál ke svařování vysokolegovaných austenitických ocelí metodou TIG, který se přidává do svarové lázně za účelem dosažení požadovaného tvaru spoje, legování svarového kovu přísadami za účelem zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin a dutin, nahrazení prvků vypálených při svařování, dodání odplyňujících přísad do svarové lázně a zlepšení formování svaru.

Svařovací dráty jsou kruhového průřezu, většinou se dodávají v délce jeden metr. Dráty musí být skladovány v suchém prostředí a v originálním balení. [1]

### 3.1.6. Technologie svařování

#### ○ Vysokolegované austenitické oceli

Při svařování metodou TIG vysokolegovaných austenitických ocelí je třeba brát v úvahu jejich fyzikální a metalurgické vlastnosti, z kterých pak vyplívají následující zásady svařování. [1]

- provést pečlivě přípravu svarových ploch s vysokou čistotou povrchu a přesné stehování nebo upnutí svařovaných dílů
- používat upínací přípravky, podložky a chladicí příložky za účelem zvýšeného odvodu tepla z místa svaru
- používat stejnosměrný svařovací proud se zapojením na přímou polaritu – wolframová elektroda na (-) pólu svařovacího zdroje
- při svařování tenkých plechů a při zhotovení kořenových vrstev používat stejnosměrný pulzující proud

- jako ochranný plyn použít argon o vysoké čistotě min. 99,95 %, ojediněle je možné použít i směs argonu s heliem
- na kořen svaru používat sekundární ochranu
- při svařování používat minimální tepelný příkon – malé svařovací proudy a rychlosti, ochlazovat na interpass teplotu  $T_{\max} = 125^{\circ}\text{C}$
- přídavné materiály musí mít vhodné chemické složení a vysokou jakost povrchu
- pro svařování ocelí s větší tloušťkou používat přídavné materiály, které dávají svarový kov s malým obsahem delta feritu (3 až 5 %)
- pro svařování stabilizovaných ocelí používat přídavné materiály stabilizované niobem, pro svařování nízkouhlíkových ocelí používat přídavné materiál s nízkým obsahem uhlíku (max. 0,03 % C)
- používat tupý I svar bez mezery pro tloušťku materiálu  $t < 1$ , tupý I svar s mezerou pro tloušťku materiálu  $1 < t < 4$  a tupý svar V pro  $t > 4$
- používat doporučené svařovací parametry

**Tab. 1** Doporučené parametry svařování tupých I svarů [1]

<i>Tloušťka plechu [mm]</i>	<i>Svařovací proud [mm]</i>	<i>Průměr elektrody [mm]</i>	<i>Průměr svařovacího drátu [mm]</i>	<i>Průtok argonu [l.min-1]</i>	<i>Rychlost svařování [cm.min-1]</i>
0,6	15 - 25	1	-	3	30 - 40
0,8	15 - 30	1	-	3 - 4	30 - 40
1	25 - 55	1	1	4	25 - 30
1,5	50 - 80	1,5	1,5	4 - 5	25 - 30
2	80 - 110	1,5 - 2	1,5 - 2	4 - 5	20 - 25
3	100 - 150	1,5 - 2	2 - 3	5	20 - 25
4	120 - 200	3	3	5 - 6	15 - 20
5	130-250	3	3	5 - 6	15 - 20

- Nejdůležitější zásady při svařování metodou TIG
- a) *Čistota* – oblast svaru při svařování musí být zbavena mastnoty, oleje a ostatních nečistot. Taje nutno dbát na čistotu přídavného materiálu a čisté rukavice svářeče při svařování
- b) *Přídavný materiál* – aby se zabránilo oxidaci, musí být odtavující se konec přídavného materiálu vždy veden v plášti ochranného plynu. Přídavný materiál je nutno vést pod malým úhlem vzhledem k povrchu obrobku.

- c) *Materiály citlivé na plyn* – při svařování materiálů citlivých na oxidaci se musí používat sekundární ochrana plynem, aby se zabránilo zkřehnutí a oxidaci materiálu.
- d) *Typ a průměr wolframových elektrod* – typ a průměr wolframových elektrod je nutno zvolit dle velikosti proudu, polarity, druhu základního materiálu a složení ochranného plynu
- e) *Broušení wolframových elektrod, drsnost povrchu* – naostření špičky elektrod by mělo probíhat v axiálním směru. Čím nepatrnější je drsnost povrchu špičky, tím klidněji hoří světelný oblouk a tím větší je jeho trvanlivost. Při naostřování musí brusný kotouč běžet proti špičce elektrod, aby se zabránilo zlomení křehkého materiálu
- f) *Množství ochranného plynu, ochrana plynu* – množství ochranného plynu je třeba přizpůsobit odpovídajícímu úkolu svařování, popřípadě velikosti plynové trysky. Po ukončení svařování musí proudit plyn dostatečně dlouho, aby se chránila chladnoucí tavná lázeň a wolframové elektrody před oxidací.

### **3.1.7. Parametry svařování**

Parametry svařování metodou TIG jsou veličiny, které určuje svářečský dozor (inženýr, technolog svařování) ve výrobních postupech svařování (WPS) v souvislosti s normami ČSN EN, které podmiňují jakost svarového spoje. [1]

***Tepelný režim při svařování je dán třemi základními parametry:***

- 1) *Velikost svařovacího proudu* – volí se podle tloušťky, tepelné vodivosti základního materiálu, podle typu spoje, polohy svařování a svařovací rychlosti
- 2) *Velikost napětí na oblouku* – závisí na délce oblouku
- 3) *Rychlost svařování* – závisí na intenzitě svařovacího proudu a na jeho druhu

***Mezi doplňkové parametry a technologické podmínky svařování patří:***

- chemické složení netavicí se elektrody
- průměr netavicí se elektrody – volí se podle velikosti intenzity svařovacího proudu
- vyložení elektrody – závisí na druhu svarového spoje a na geometrii úkosu
- vrcholový úhel elektrody – závisí na velikosti svařovacího proudu

- průměr hubice hořáku – volí se podle přístupnosti do svaru a šířky svaru
- velikost pulzačního proudu – závisí na tloušťce svařovaného materiálu, na vnějším pracovním prostředí a na geometrii svarového úkosu
- sklon přídatného drátu – závisí na poloze svařování a přístupnosti do místa svaru
- sklon hořáku – závisí na poloze svařování a přístupnosti do místa svaru

### 3.1.8. Shrnutí – výhody a nevýhody metody TIG

#### ○ V ý h o d y T I G

Asi nejvýraznější výhodou TIG svařování je **výborná kontrola** nad svarovou lázní. TIG je zkrátka precizní. Tím, že na rozdíl od jiných metod svařování elektrickým obloukem, nedochází k neustálému přísunu přídatného materiálu do lázně, může svářeč daleko lépe ovlivňovat svarovou lázeň a tím i vlastnosti svarového spoje. Přídatný materiál si svářeč do lázně přidává dle potřeby. TIGem lze také svařovat zcela **bez přídatného materiálu** (např. roztavením lemu u lemového spoje) a to je z metalurgického hlediska nejlepší, protože svarový kov má na 100% shodné chemické složení se základním materiálem. Nedochází tedy k zavlečení jiných prvků do svarového kovu. Někdy je dokonce možné jako přídatný materiál použít **odstřížek nebo úlomek** ze základního materiálu. To nám opět zaručí 100% shodu svarového kovu a základního materiálu. Například u svařování obalenou elektrodou nebo MIG/MAG toto prostě není možné. [3]

**Vysoká teplota oblouku.** Díky tomu je možné svařovat i materiály, které jinými metodami neroztavíme, zejména vysocelegované ocele. Zároveň je ale teplotní pole velmi úzké. Nedochází proto k **tepelnému ovlivnění** základního materiálu v tak širokém pásmu okolo svaru a naopak je možné dosáhnout velké hloubky závaru. To má mimo jiné i pozitivní vliv na **tepelné deformace** svarku. Navíc je možné **přísun tepla** do svaru efektivně regulovat. TIG oblouk je totiž možné v určitých případech tvarovat (prodlužovat či zkracovat, zužovat či rozšiřovat a ohýbat) a dosahovat tak různých tepelných účinků na svařovaný materiál. [3]

**Výborná ochrana** svarové lázně před škodlivými účinky vzduchu (hlavně vzdušného kyslíku). To je zajištěno použitím inertních plynů jako ochranné atmosféry.

Z dalších pozitivních vlastností můžeme jmenovat **příznivé tvarování** svarové housenky na povrchu i v kořeni a dobré **operativní vlastnosti** TIGu v polohách.

Zajímavá je také možnost svařování velice **tenkých materiálů**. Při TIG svařování je totiž možné používat velmi malé proudy (od jednotek ampér) a z toho vyplývá možnost svařování opravdu velmi tenkých materiálů. V extrémních případech lze při použití speciálních zdrojů a hořáků svařovat i kovové fólie či šperky proudy menšími než 1A. [3]

#### ○ Nevýhody

Nevýhody (alespoň ty zásadní) jsou v podstatě jen dvě:

Vysoká technická **náročnost na svařovací zařízení**, zejména při TIG svařování střídavým proudem. Zařízení pro TIG svařování jsou obecně komplikovanější a dražší, než svářečky pro jiné běžné metody svařování. To platí zejména pro svářečky umožňující svařovat metodou TIG AC (střídavým proudem), které jsou dosti složité, mají velký počet regulačních prvků a jsou tedy i dosti drahé. Ovšem díky jejich stále masivnějšímu nasazování a všeobecnému poklesu cen elektroniky i jejich cena nezadržitelně klesá. [3]

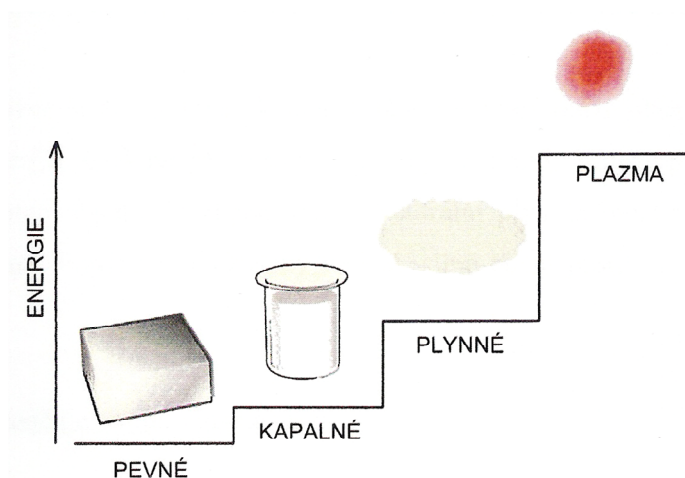
Zásadnější nevýhodou ale je **malá produktivita**. Zejména ruční svařování TIGem je pomalejší. Je to dáno hlavně tou precizností, která je popsána výše. [3]

### **3.2. Studie svařování mikroplazmou**

#### **3.2.1. Teorie plazmy**

Plazma je kvazineutrální soubor částic s volnými nosiči nábojů, který vykazuje kolektivní chování. Tento fyzikální pojem zavedl roku 1923 I. Langmuir. Obecně je plazma charakterizována jako čtvrtý skupenský stav hmoty a předpokládá se, že většina známé hmoty ve vesmíru je právě v plazmovém stavu [13]. Všechny látky jsou v takovém skupenství jaké jim dovoluje udržet jejich vnitřní energie. Nejméně energeticky náročné jsou pevné látky – atomy a molekuly jsou zbaveny volného pohybu a pevně rozmístěny v mřížce. Po dodání energie se mění skupenství na kapalinu – atomy se mohou volně pohybovat. Při dalším zvyšování energie dochází ke změně skupenství na plynné. Dodáme-li plynu ještě více

energie, začnou se uvolňovat elektrony z atomů, které vytvářejí elektrické nabitě ionty. Tento proces se nazývá *ionizace* viz obr.7.



**Obr. 7** Skupenství látek [12]

Stav plynů je závislý na teplotních změnách. Se stoupající teplotou (energií) roste rychlost pohybu molekul, až nastane stav, kdy při vzájemných srážkách molekul bude nárazová energie větší než vazební energie molekuly a tato se rozštěpí na jednoatomové prvky, vzniká tzv. *disociace molekul*. Zvýší li se ještě množství tepelné energie, a tím i energie srážek, je elektron vyražen z oběžné dráhy (orbitály) atomu. Ten se rozštěpí na elektron se záporným nábojem a zbytek atomu, iont s kladným nábojem. Obě části se mohou při dostatečné teplotě plynu pohybovat jako volné ionty a elektrony – dojde k *ionizaci plynu*, vzniká plazma. Při ionizaci může být z oběžné dráhy atomu odtržen jeden nebo více elektronů, podle toho se určuje stupeň ionizace. Stupeň ionizace (procento volných elektronů) je závislý na teplotě, při které k ionizaci dochází a na druhu použitého plynu [12]. Podle stupně ionizace lze plyny rozdělit na plně ionizované a částečně ionizované. Plně ionizovaná plazma je taková, jejíž všechny atomy jsou rozloženy na volné elektrony a holá jádra.

Plazma je tedy soubor částic nabitých kladně a záporně, který může obsahovat také částice bez elektrického náboje [12]. Celkově je plazma elektricky neutrální, protože počet částic kladných a záporných v jednotce objemu je zhruba stejně velký. Neutrální plyn se mění v plazmu postupně se zvyšující se teplotou. Plazma je elektricky vodivá, silně na ni působí elektrické a magnetické pole.



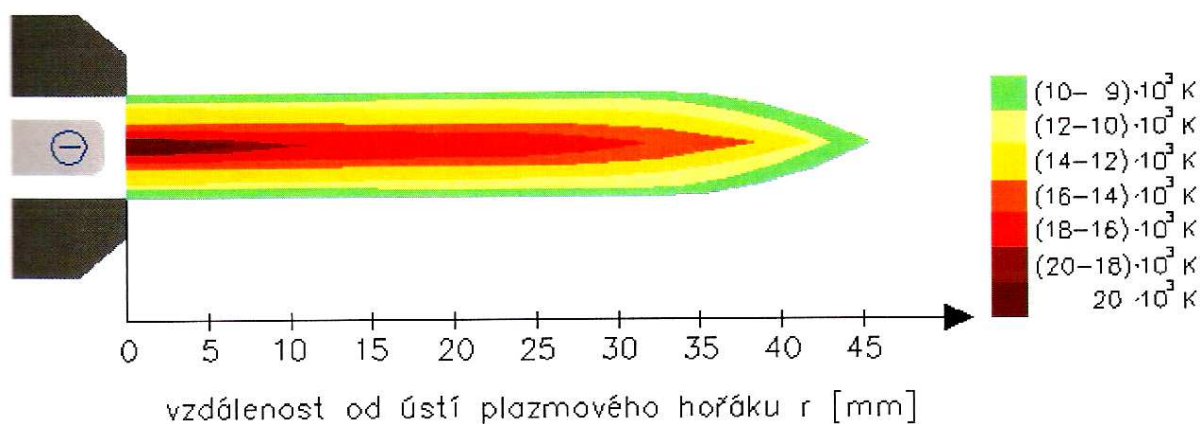
Plazma se tedy vyznačuje těmito vlastnostmi:

- Současně s pružnými srážkami molekul (atomů) se v podstatné míře vyskytují i nepružné, které vedou k disociaci a ionizaci plynu
- Chemicky stejnorodý plyn se mění na směs atomů, iontů, elektronů, fotonů atd.
- Směs částic v plazmě je kvazineutrální, tzn. počet kladných a záporných částic je přibližně stejný
- Elektrická vodivost plazmy je závislá na pohyblivosti elektronů (100x vyšší než iontů)
- Na plazmu silně působí elektrické a magnetické pole
- Elektrická vodivost plazmy při teplotě 20 000 K je přibližně stejná jako u kovů [13]

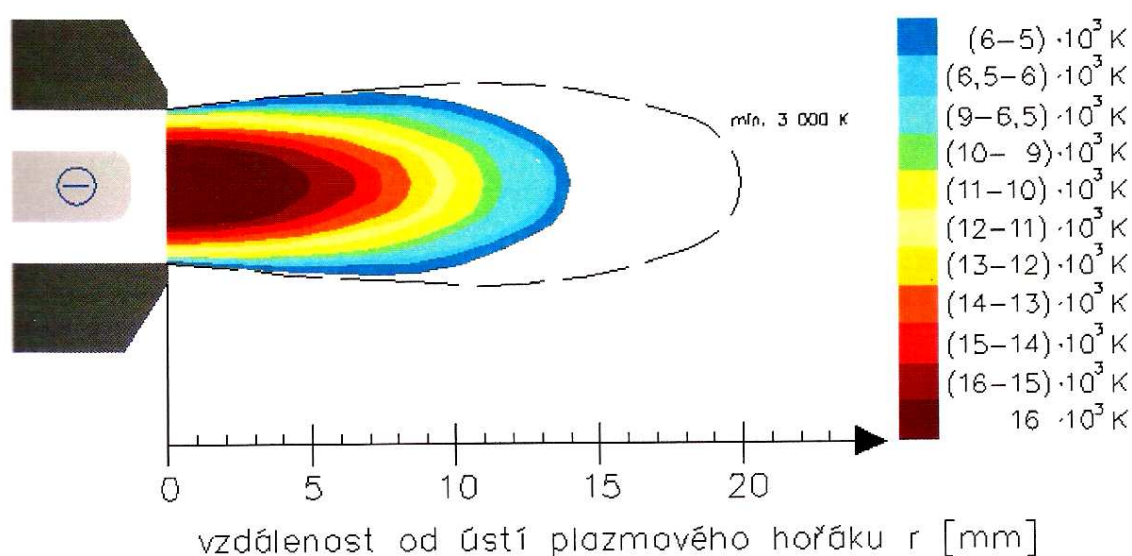
Přibližné průměrné teploty plazmy [13]:

- dusíková plazma 9000 K
- vodíková plazma 10 000 K
- argonová plazma 16 000 K
- Heliová plazma 20 000 K
- Vodou stabilizovaná plazma 35 000 K

Možné rozložení teplot v plazmovém paprsku uvádí literatura [12]



a)



b)

a) plazmový plyn Ar + H<sub>2</sub>   b) plazmový plyn H<sub>2</sub>**Obr. 8** Rozložení teplot v plazmovém paprsku [12]

#### o V ý v o j m e t o d y :

Všechny metody využívající proudu plazmatu, ať dělení materiálu nebo svařování, s přeneseným nebo přímým obloukem se vykazují společnou vlastností – usměrněným elektrickým obloukem.

Pokusy usměrnit elektrický oblouk a přitom zvýšit jeho hustotu výkonu, jsou již velmi staré. V roce 1909 Schönherr dosáhl tangenciálním vháněním vody pod lehkým přetlakem koncentrace oblouku v jeho ose.

Pojem tepelná plasma byl zaveden fyzikem Lamuirem v roce 1927. Při hledání čtvrtého skupenství hmoty našel stav, při kterém září a má určité elektrické vlastnosti a pojmenoval ho plazmou.

### 3.2.2. Princip svařování plazmou

Plazmový oblouk je zvláštním zdrojem tepelné energie pro tavné svařování, který má vlastnosti odlišné od běžného. Je to dáno především tím, že vytváří paprsek plazmy nezávisle na svařovacím proudu a tím se stabilizuje oblouk. [3]

Při svařování paprskem plazmatu (zkráceně WPS) hoří oblouk mezi wolframovou elektrodou a vnitřní stěnou plazmové trysky (nepřenesený oblouk). Při svařování plazmovým obloukem (zkráceně WPL) mezi wolframovou elektrodou a svarkem (přenesený oblouk). Ochranný plyn je inertní, např. Ar nebo He, nebo, aktivní, např. H<sub>2</sub>, nebo směs inertního a aktivního plynu. Svařování plazmovým paprskem – plazmovým obloukem (zkráceně WPSL) je variantou plazmového svařování, kdy je použit nepřenesený a přenesený oblouk.

Obě tyto metody pracují s tzv. usměrněným elektrickým obloukem. Pokud srovnáváme metodu plazmového svařování s metodou TIG, která je nejbližší, je usměrněný oblouk hlavním rozdílem. Usměrněného oblouku je dosaženo pomocí vodou chlazené měděné hubice. Pro zamezení rozšíření plazmového paprsku po výstupu z hubice ionizací, mohou být použity fokusační plyny. Jedná se o argon, helium a vodík. [3]

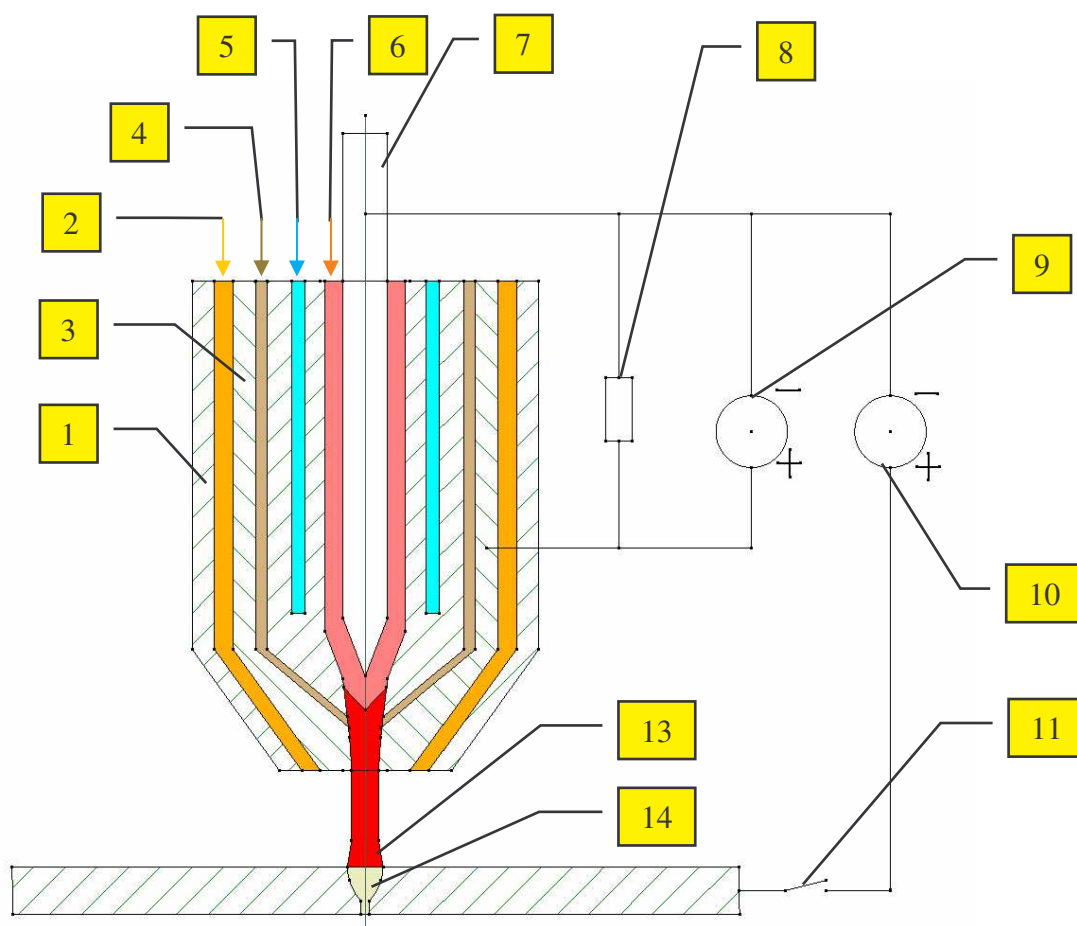
- S v a ř o v á n í p a p r s k e m p l a z m a t u

- minus pól proudového zdroje je na wolframové elektrodě plus pól na vodouchlazené měděné trysce. Po zapálení vysokonapětovým impulzem hoří oblouk mezi elektrodou a plazmovou hubicí a jen horké plyny vystupují jako druh „plamene“ z hořáku (nepřenesený oblouk). Tento druh svařování plazmou je používán příležitostně pro navařování, především však pro žárové nástřiky. [3]

- S v a ř o v á n í p l a z m o v ý m o b l o u k e m

- při svařování plazmovým obloukem je minus pól na wolframové elektrodě, plus pól na svarku. Oblouk hoří po zapálení vysokonapětovým impulzem mezi elektrodou a dílem (přenesený oblouk). [3]

*Přenesený plazmový oblouk se používá pro svařování mikroplazmou.*



1 – hubice pro přívod ochranného plynu, 2 – ochranný plyn, 3 – tryska hořáku, 4 – fokusační plyn, 5 – vodní chlazení, 6 – plazmový plyn, 7 – wolframová elektroda, 8 – zdroj vysoké frekvence (ionizátor), 9 – zdroj pomocného elektrického oblouku (nezávislý), 10 – zdroj hlavního elektrického oblouku (závislý), 11 – spínač, 12 – svařovaný základní materiál, 13 – plazmový paprsek, 14 – svar

**Obr. 9** Princip plazmového hořáku a schéma jeho zapojení [12]

#### ○ Přenesený plazmový oblouk pro svařování mikroplazmou

Pomocí samostatného zdroje se vytvoří úzký paprsek plazmatu, jehož úkolem je zajistit ionizaci plynu a klidné hoření oblouku. Svařovací zdroj má proto dva nezávisle regulovatelné zdroje proudu.

*Pomocný zdroj* je napojen na wolframovou elektrodu (katodu) a měděnou hubici (anodu). Plazma vznikající při hoření pomocného oblouku tryská z otvoru v hubici vlivem přetlaku plazmového plynu. Tento paprsek je dále zužován proudem ochranného plynu. Tím se zvyšuje jeho teplota, rychlost a dynamický tlak na základní materiál.

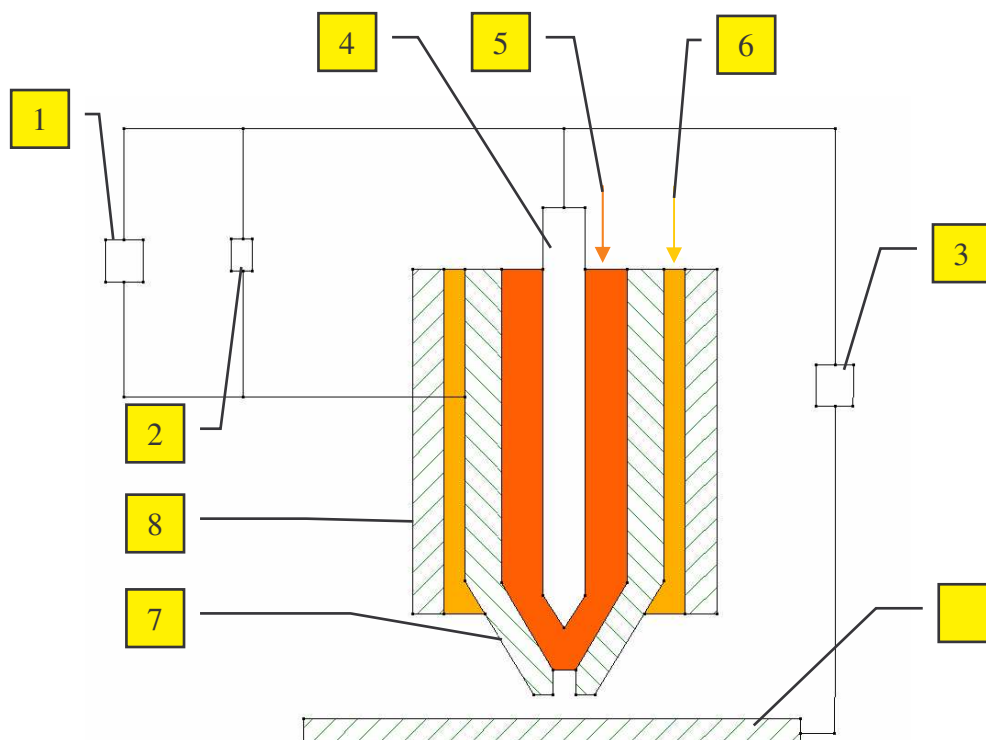
*Hlavní zdroj* energie je napojen na wolframovou elektrodu, kladný pól na základní materiál. Oblouk prochází paprskem nezávisle vytvořeného plazmatu. [3]

Díky značné výstupní rychlosti plazmového paprsku a jeho malé divergenci se dosahuje dvojího účinku:

1. vysoké koncentrace energie v blízkosti osy paprsku a tím i charakteristické tvaru závaru
2. klidného a stabilního hoření poměrně dlouhého přeneseného oblouku, srovnáme-li s metodou TIG může být délka oblouku několikanásobně větší a plazmový oblouk proto zasáhne i do míst pro svařování TIG nepřístupných.

### **3.2.3. Mikroplazmové svařování**

Paprsek plazmatu vytváří v základním materiálu, plechu o tloušťce 0,2 až 0,8 mm, tzv. "Schlüssellocheffekt = efekt klíčové dírky" - svařování průchozím paprskem. Toto profouknutí plazmového paprsku je znakem toho, že bylo dosaženo úplného provaření. Při dalším pokračování paprsku se otvor uzavírá sbíháním roztaveného materiálu. Tato technika může být provedena pouze strojně, protože je potřebná rovnoměrná rychlost svařování a přesné vedení hořáku středem svaru. Znakem pro svařování průchozím paprskem je kalíškový závar, při kterém poměr mezi šířkou svaru a hloubkou leží mezi svařování TIG a elektronovým paprskem. [3]



1 – zdroj nepřeneseného oblouku, 2 – ionizátor, 3 – zdroj přeneseného oblouku, 4 – netavící se elektroda, 5 – plazmový plyn, 6 – ochranný plyn, 7 – dýza, 8 – ochranný kryt, 9 – svařovaný materiál

**Obr. 10** Schéma svařování mikroplazmou [12]

Metoda není ovlivňována délkou oblouku a výkyvy hořáku. Umožňuje svařovat vysokými rychlostmi. Kořen svaru je hladký a rovnoměrný. [3]

#### ○ Pracovní oblast při svařování mikroplazmou

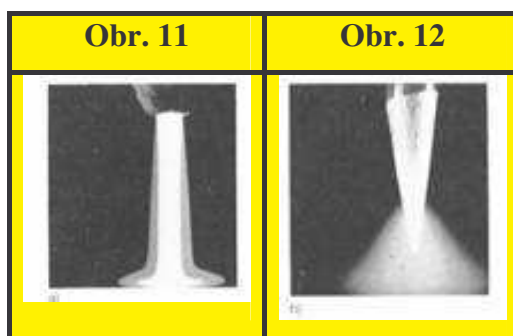
V této oblasti jsou používány proudové zdroje pracující v oblasti 0,05 - 50A. Je možné svařovat materiály od tloušťek folií až po 1 mm. Zvláště v rozsahu proudu pod 1A nabízí usměrněný oblouk rozhodující přednosti proti metodě TIG. I při malých hodnotách proudu hoří stabilně.

Vysvětlením je následující: u volně hořícího oblouku dochází k prudkému poklesu charakteristiky oblouku v oblasti nízkých proudů a také ke klesajícímu průběhu

charakteristiky proudového zdroje, obě charakteristiky se neprotínají, nelze definovat žádný pracovní bod.

Kontrací se charakteristika oblouku změní do té míry, že se i u nízkých proudů dosáhne pracovního bodu. Při svařování s vysokými proudy se pracovního bodu dosáhne u obou druhů oblouku bez problémů. [3]

Používají se stejnosměrné zdroje s klesající statickou charakteristikou.



**Obr. 11 Svařování mikroplazmou, Obr. 12 Svařování TIG**

#### **3.2.4. Podmínky svařování mikroplazmou:**

*Vliv podmínek svařování* - Největší vliv mají jako u všech ostatních metod obloukového svařování především elektrické parametry.

##### o Polarita

Jak již bylo uvedeno je minus pol proudového zdroje na wolframové elektrodě a plus pol na vodou chlazené měděné hubici (nepřenesený oblouk) nebo na svarku (přenesený oblouk). Tímto je zajištěna možnost vysoké proudové zatížitelnosti, ale také dlouhá životnost elektrody. [3]

##### o Velikost proudu

V zásadě se dá říct, že při plazmovém svařování se s nárůstem proudu zvyšuje průvar. Pokud, ale je při určité velikosti proudu dosaženo společně s tlakem plazmového plynu dostatečného průvaru, pak umožňuje zvýšená velikost proudu odpovídající zvýšení rychlosti svařování. [3]

### ○ Napětí

V zásadě je svařovací napětí při plazmovém svařování o 10 až 15V vyšší než při svařování TIG, tzn. v oblasti 28 až 33V. Jelikož je často svařováno s relativně malým odstupem hořáku, nastavuje se napětí samostatně v závislosti na použitém plazmovém plynu (argon, argon/vodík). [3]

**Tab. 2** Parametry pro svařování mikroplazmou [3]

	<i>tenký plech</i>	<i>tenký plech</i>	<i>folie</i>
<i>tloušťka materiálu [mm]</i>	0,2 – 2,5	0,2 - 0,5	0,01 - 0,2
<i>proud [A]</i>	1 – 50	1 -20	0,05 - 10

### *Regulace plazmového procesu*

Při ručním plazmové svařování - mikroplazmovém, má svářeč bezprostřední kontrolu nad procesem a může tak sklonem hořáku nebo změnou rychlosti svařování ovlivnit výsledný svar. U mechanizovaného svařování taková možnost není. [3]

### **3.2.5. Plyny pro svařování mikroplazmou**

Plyny pro svařování mikroplazmou rozdělujeme na *plazmové* a *ochranné*.

Vnitřní proud plynu kolem wolframové elektrody je nazýván plazmový ( pilotní ) plyn. Nejčastěji se jedná o argon, který díky své nízké ionizační energii dosáhne vysokého ionizačního stupně. Při svařování CrNi ocelí nebo slitin na bázi niklu je používána směs argonu a vodíku. V důsledku vyšší tepelné entalpie vodíku, a při shodné délce oblouku vyšší energie je možné zvýšit rychlost svařování ve srovnání s použitím čistého argonu. K tomu přispívá ještě lepší tepelná vodivost. Podobný efekt dosáhneme při svařování titanu a zirkonu přimísením helia do plazmového plynu.

Ochranný plyn nesmí negativně ovlivňovat vlastnosti základního materiálu. Volba ochranného plynu se řídí v první řadě podle základního materiálu. Jako vnější ochranný plyn je používán u nelegovaných a nízkolegovaných ocelí stejně jako pro austenitické oceli a slitiny na bázi niklu zpravidla směs argon/vodík. Pro svařování nelegovaných a



nízkolegovaných ocelí je možné použít i směs argon-CO<sub>2</sub> nebo argon-O<sub>2</sub>. Pro svařování hliníku je vhodná směs argon-helium.

Pokud používáme fokusující plyn, potom je to směs argon/helium nebo argon/vodík, která je přiváděna separátním okruhem ochranného plynu mezi plazmovým a ochranným plynem, nebo studený argon oddělený nad počátkem oblouku. [3]

Množství plazmového ( pilotního ) plynu je pro mikroplazmové svařování 0,2 až 1 l/min, pro svařování tenkých plechů podle velikosti proudu 1 až 6 l/min. Množství ochranného plynu je mezi 5 až 10 l/min popř. 15 až 25 l/min.

Tlak plazmového plynu neovlivňuje pouze provaření, ale i tvorbu povrchu svaru. Příliš velké množství způsobuje proto vedle hlubokého kořene také poškození povrchu svaru. Vysoký tlak plazmy nestlačuje svarový kov pouze dolů, ale i do stran. Odstraní se snížením množství plazmového plynu. [3]

### **Přehled plynů:**

*Argon s 2 až 7% vodíku se používá pro svařování:*

- nelegované a nízkolegované oceli
- korozivzdorných Cr, CrNi ocelí
- slitin niklu ( Incoloy, Nomonic, Inconel, Nimonic)
- Hasteloy

*Argon se používá pro svařování:*

- automatové oceli
- zlata
- molybdenu
- titanu

*Helium se používá pro svařování:*

- mědi
- bronzů
- stříbra
- vanadu

- wolframu

### **3.2.6. Shrnutí – výhody a nevýhody**

Výhody mikroplazmového (MP) svařování v porovnání s technologií TIG:

- stabilita mikroplazmového oblouku do nejnižších hodnot proudu 0,05A
- koncentrace tepelného bodu, který reprezentuje MP oblouk je ilustrovaný minimálním tepelným příkonem 1W
- deformace při MP svařování bývají o 20 až 30 % menší než u svařování TIG
- válcový charakter oblouku zabezpečuje nezávislost na změnách jeho délky
- při MP svařování není možné znečištění lázně wolframem
- MP svařování je vhodné na strojní a ruční svařování
- MP svařováním se dosahuje lepší kvalita spojů
- při použití ochranného plynu z obou stran spoje má svar kovový lesk, což je důležité při výrobě lékařských a sanitárních nádob
- použitím impulsního mikroplazmového oblouku je možné rozšířit MP svařování i do těžko svařitelných materiálů
- koutové spoje při MP svařování je možné použít jen v omezené míře, protože není možné se s hořákem přiblížit k místu spoje [12]

Při hodnocení možnosti vzniku vady je přirozeně metoda plazmového svařování srovnávána se svařováním TIG. Při tomto srovnání je ihned zřejmé, že nebezpečí wolframových vměstků je při plazmovém svařování výrazně nižší, protože je wolframová elektroda chráněna v plazmové hubici a je zamezeno zapálení oblouku dotykem nebo náhodnému kontaktu elektrody s materiálem [3]

## 4. ZKOUŠKY SVAROVÝCH SPOJŮ

### 4.1. Nedestruktivní kontrola svarů

Nedestruktivní zkoušky představují důležitý článek při zajišťování jakosti ve všech etapách výroby a provozní spolehlivosti. Význam nedestruktivní kontroly spočívá v zajištění kvality výrobku, jeho technické způsobilosti a funkční bezpečnosti.

Přípustnost vad ve svarech je obecně stanovena druhem, velikostí a četností vyskytujících se vad v závislosti na typu svaru a způsobu namáhání. Stanovuje ji konstruktér na základě předpokládaného provozního namáhání. Pracovník nedestruktivní kontroly potom pomocí příslušných kontrolních metod ověřuje, zda svar stanoveným kritériím vyhovuje. Pracovník provádějící nedestruktivní kontrolu musí být příslušně kvalifikován podle ČSN EN 473.

Základní nedestruktivní metody používané pro kontrolu jakosti svarů dělíme podle toho, zda identifikujeme vady na povrchu svaru nebo uvnitř svaru. K zjišťování povrchových vad se používají mimo jiné metody:

- vizuální
- penetrační

#### ○ Vizuální kontrola

Vizuální kontrola patří mezi nejjednodušší defektoskopické metody, která slouží pro zjišťování povrchových defektů (nerovnoměrnosti, převýšení svaru, trhliny, zápaly, studené spoje, vady kořenové oblasti) a ověřuje splnění podmínek pro další eventuální nedestruktivní kontrolu. Podle přístupnosti kontrolovaného povrchu máme **vizuální kontrolu přímou**, prováděnou pouhým okem nebo při použití jednoduchých optických pomůcek například lupy zvětšující 3 až 6x, nebo vizuální kontrolu nepřímou, prováděnou pomocí optických přístrojů například endoskopů. Provádění vizuální kontroly se řídí normou ČSN EN 970. Stupně jakosti svarových spojů se určují dle norem ČSN EN ISO 5817.[1]

#### ○ Penetrační zkouška

Tato metoda umožňuje s poměrně velkou citlivostí zjišťovat povrchové vady, které musí souviset s povrchem, to značí, že musí být na povrchu otevřené, aby do nich mohla vniknout detekční tekutina. U této zkoušky jde o zjišťování povrchových trhlin, studených spojů, zápalů a pórů. Detekování uzavřených nebo vnitřních vad touto metodou není možné. Podstatou této metody je použití vhodné (kapilárně aktivní) kapaliny, která pronikne do necelistvosti (vady). Po odstranění přebytku kapaliny z povrchu zkoušeného předmětu začne kapalina vzlínat z necelistvostí a tím se vada zviditelní. [1]

Vlastní provedení zkoušky lze obecně rozdělit na tyto hlavní operace:

- příprava povrchu pro zkoušku (mechanické očištění, odmaštění)
- nanesení vhodné penetrační kapaliny (nástříkem, nátěrem, ponorem).
- odstranění přebytku penetrantu (oplah vodní sprchou, sajícím textilem nepouštějícím vlákno). Je však nutno dbát na to, aby se kapalina neodstranila z necelistvostí.
- vyvolání indikace – provádí se nanesením vývojky (suché naprašováním, mokré natíráním nebo nástříkem).
- vyhodnocení – provádí se vizuálně. Ihned po nanesení vývojky se objeví indikace vad větších rozměrů, po 10 a více minutách se objeví menší vady.

Hodnocení indikací je subjektivní a vyžaduje zkušenosti. Provádění kapilárních zkoušek se řídí normami ČSN EN 571 – 1. Stupně jakosti svarových spojů se určují dle norem ČSN EN ISO 5817. [1]

## **4.2. Metalografické zkoušky**

### Metalografické zkoušky svarových spojů

- a) doplňují zkoušky mechanických vlastností při ověřování zejména stavu struktury svarových spojů
- b) u metalografických analýz je nezbytné před vlastním pozorováním provést dokonalou přípravu vlastního vzorku
  - tato příprava se skládá:
    - z vhodného odběru (mechanické dělení a opracování)
    - postupného broušení zkoumaného povrchu na metalografických papírech s postupně klesající zrnitostí
    - leštění (elektrolyticky nebo mechanicky)

- leptání (chemickými nebo elektrolytickými postupy)

c) výsledky pozorování se dokladují příslušnými fotografiemi

- rozdělení metalografických zkoušek svarových spojů:

- makrostruktura svarového spoje
- mikrostruktura svarového spoje
- elektronomikroskopická studia [1]

○ Makrostruktura svarového spoje

- vybroušený vzorek se naleptá vhodným činidlem a tím dojde k vyvolání jeho makrostruktury
- nejvíce používaná leptadla jsou vodní 10 % roztoky kyseliny dusičné nebo persíranu amonného
- makrostruktura se posuzuje okem, lupou nebo optickým mikroskopem
- zkoumané vzorky musí zahrnovat základní svařované materiály, obě TOO oblasti a svarový kov
- při této zkoušce posuzujeme tvar svaru, způsob kladení jednotlivých vrstev, provaření kořene svaru, defekty ve svaru (póry, vměstky, studené spoje, trhliny, atd.) a šířku tepelně ovlivněné oblasti
- tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1321 [5]

○ Mikrostruktura svarového spoje

- mikrostrukturní rozbor zahrnuje přípravu metalografických výbrusů zkušebních vzorků, vyvolání mikrostruktury leptáním, pozorování mikrostruktury v optickém mikroskopu, její vyhodnocení a provedení fotodokumentace
- na takto připravených metalografických výbrusech zkušebních vzorků se zkoumá mikrostruktura jednotlivých oblastí svarového spoje za použití optických mikroskopů při zvětšení 30x až 2000x.
- leptadla jsou používána podle účelu pozorování a typu oceli
- nejvíce používaná leptadla jsou:
  - „Nital“ - 4 % roztok  $\text{HNO}_3$  v etylalkoholu (pro nelegované a nízkolegované oceli a litiny)

- speciální leptadla „Vilella“ (pro vysocelegované Cr a CrNi oceli)
- výsledkem mikroskopického rozboru svarového kovu, TOO a základního materiálu je:
  - posouzení vzhledu mikrostruktury
  - rozložení základních strukturních fází (ferit, austenit, cementit, martenzit)
  - rozložení strukturních složek (perlit, bainit)
  - stanovení obsahu nekovových vměstků
  - stanovení velikosti zrna
- vlastní vyhodnocení - porovnáním s etalony příslušných norem (ČSN EN 4967, ASTM E 112, DIN 50601)
- tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1321 [5]

#### **4.3. Zkoušky mikrotvrdosti svarových spojů**

- provádějí se na příčných řezech svarových spojů materiálů s velkými gradienty tvrdosti
- vzorek se odebírá mechanickým řezáním a musí zahrnovat základní materiál neovlivněný svařováním, obě TOO a svarový kov
- povrch vzorku se brousí případně leptá pro zviditelnění jednotlivých oblastí svarového spoje
- tvrdost se měří metodou podle Vickerse se zatížením v rozsahu 0,98 N až 49 N – HV 0,1 až HV 5
- doporučené vzdálenosti mezi vpichy jsou menší než při měření tvrdosti, proto tato metoda měření umožní lépe stanovit maximální a minimální hodnoty tvrdosti ve všech oblastech svarového spoje
- o provedení zkoušky se pořizuje zpráva o zkoušení v rozsahu daném normou
- tyto zkoušky se provádí dle normy ČSN EN 1043-2 [6]

#### **4.4. Odběr vzorků pro metalografické zkoušky**

Vzhledem k tomu, že vzorky pro metalografické zkoušky byly pořizovány dělením pomocí vodního paprsku, bylo považováno za vhodné metodu stručně popsat.

Velkou výhodou vysokorychlostního vodního paprsku, využitelnou hlavně ve strojírenství, je nulové tepelné a mechanické ovlivnění okolí řezné či obrobené plochy materiálu (zbytková pnutí, trhliny atd.), čehož nelze žádnou jinou svazkovou technologií dosáhnout (laser, plasma apod.). Paprsek se sice po průchodu vysokotlakou tryskou zahřívá, dosahuje však teploty pouze kolem 70°C při tlaku vody 350 MPa. [10]

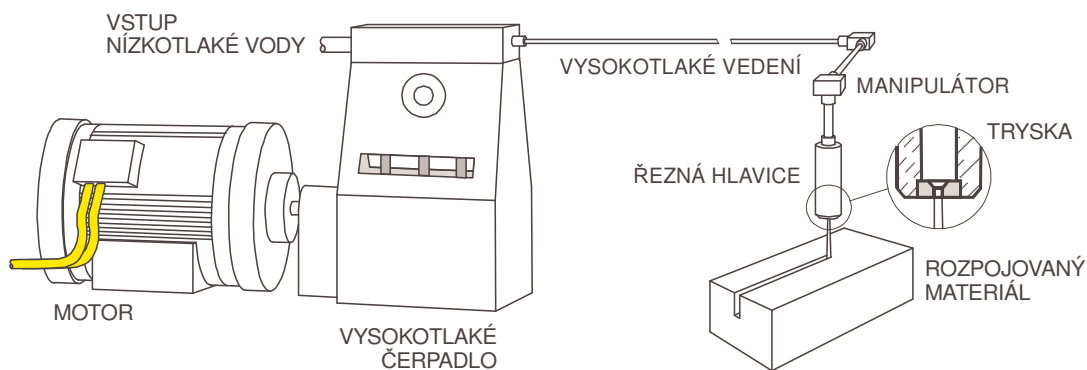
#### ○ Řezání vodním paprskem

V současné době jsou v mnoha průmyslových aplikacích běžně používány kontinuální vysokorychlostní vodní paprsky generované tlaky kolem 400 MPa k řezání nejrozličnějších materiálů.

Abrazivní vodní paprsek je vhodný nejen pro řezání běžných strojírenských materiálů, jako jsou kovy a sklo, ale také nově vyvíjených materiálů, jako jsou keramika, keramické kompozity, kompozity s kovovou maticí, lamináty a podobně. [10]

#### ○ Zařízení pro řezání vodním paprskem

Typické zařízení pro řezání vodním paprskem se skládá z vysokotlakého čerpadla včetně rozvodu vysokotlaké vody, řezné hlavičky a manipulátoru pro zajištění vzájemného pohybu mezi řeznou hlavicí a materiálem (obr. 13).



**Obr. 13** Schéma zařízení pro řezání vysokorychlostním vodním paprskem

## 5. REALIZACE NAVRHNUTÝCH METOD SVAŘOVÁNÍ A METODIKA HODNOCENÍ NA KONKRÉTNÍCH VZORCÍCH

### 5.1. Základní charakteristiky svařovaných materiálů

Svarový spoj vzniká mezi dvěma druhy materiálů, a to:

A) Materiál membrány: NIMONIC ALLOY 90

B) Materiál pouzdra: ČSN 417040 zn. 17040

Vybrané vlastnosti uvedených materiálů jsou zaznamenány v následujících tabulkách č.3 až č.6.

**Tab. 3** Mechanické vlastnosti materiálu NIMONIC ALLOY 90

Mechanické vlastnosti			
<i>Nejnižší mez kluzu - Re [MPa]</i>	<i>Pevnost v tahu - Rm [MPa]</i>	<i>Nejnižší tažnost - A5 [%]</i>	<i>Tvrdost podle Vickerse HV 1000g</i>
1347	1431	20	432

**Tab. 4** Chemické složení materiálu NIMONIC ALLOY 90

Chemické složení materiálu [%]	ALLOY 90	
	<i>C</i>	0,074
	<i>Si</i>	0,13
	<i>Mn</i>	0,05
	<i>S</i>	0,001
	<i>Ag</i>	0,1
	<i>Al</i>	1,4
	<i>B)</i>	26
	<i>Bi</i>	0,1
	<i>Co</i>	16,1
	<i>Cr</i>	19,47
	<i>Cu</i>	0,04
	<i>Fe</i>	0,71
	<i>Pb</i>	0,2
	<i>Ti</i>	2,48



	<b>Zr</b>	0,07
--	-----------	------

**Tab. 5** Mechanické vlastnosti materiálu 17040

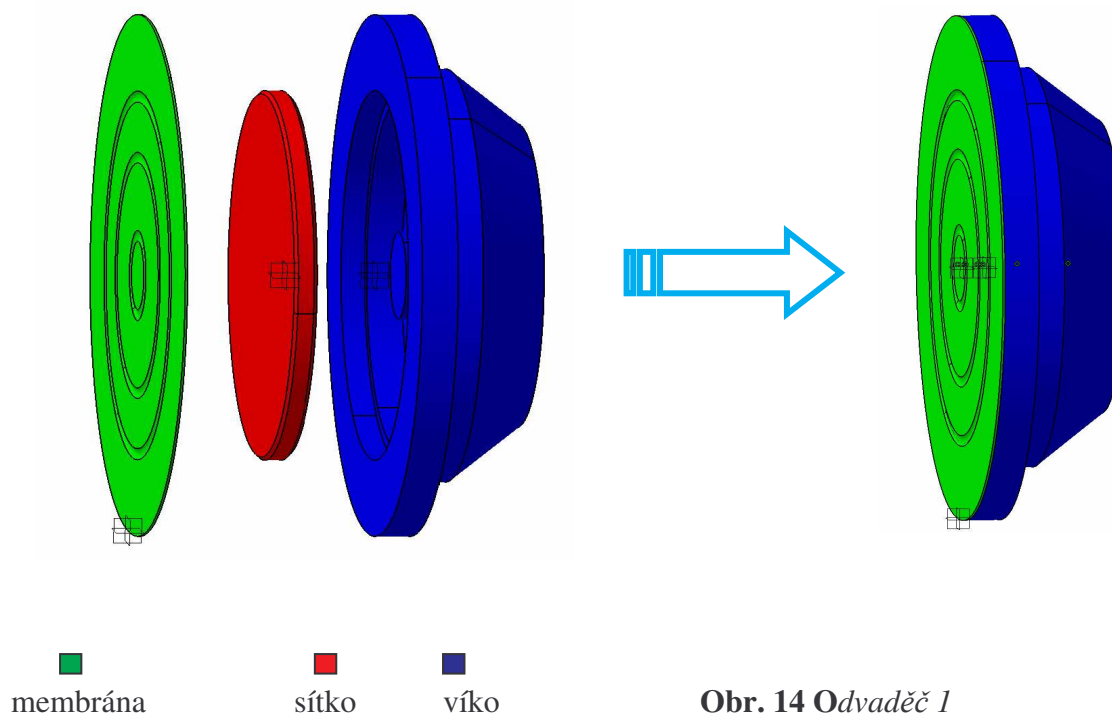
Mechanické vlastnosti			
Nejnižší mez kluzu - <i>Re</i> [MPa]	Pevnost v tahu - <i>Rm</i> [MPa]	Nejnižší tažnost - <i>A5</i> [%]	Tvrdość podle Brinella <i>HB</i>
245	440 až 590	22	127 až 169

**Tab. 6** Chemické složení materiálu 17040

Chemické složení materiálu [%]							
Materiál	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
17 040	max. 0,10	max. 0,90	max. 0,7	16 až 18,5	max. 0,60	max. 0,40	max. 0,035

## 5.2. Svařování mikroplazmou – odvaděč 1

Byl proveden obvodový svar na stávající konstrukci odvaděče, který byl realizován mezi víkem a membránou o průměru 48mm. Tloušťka membrány je 0,2mm. Jednotlivé části vložky parního odvaděče jsou zobrazeny na obrázku č. 14.

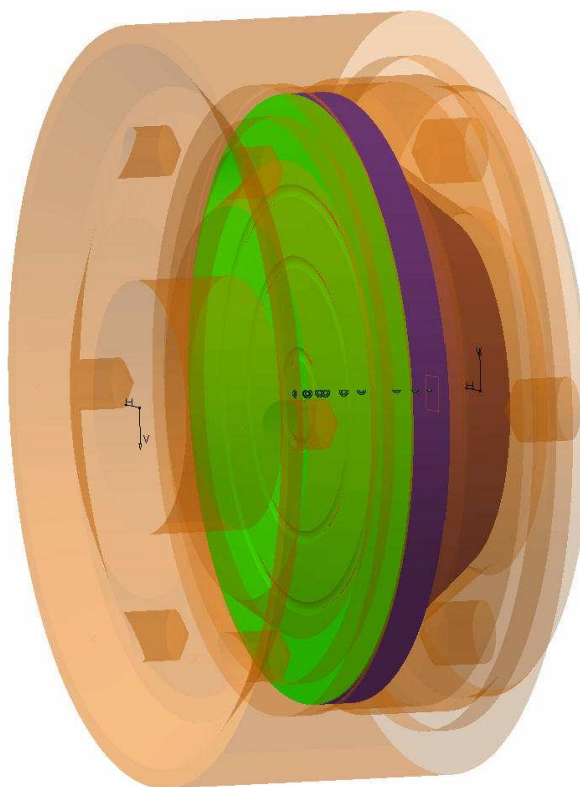
**Obr. 14** Odvaděč 1

Před vlastním svařováním proběhla úprava svarových ploch:

- očištění
- odmaštění acetonem

a následně proběhlo stehování.

**Vlastní svařování** – obvodový tupý svarový spoj bez mezery. Svařování proběhlo s předehřevem na 150°C bez přídavného materiálu. Použitý svařovací zdroj – *Inverter Microplasma 50*. Samotné svařování bylo poměrně obtížné a to především z důvodu velmi malé tloušťky membrány. Především ustavení polohy membrány vůči víku bylo nesnadné. Po svaření bylo na odvaděči patrné velké tepelné ovlivnění, které se projevovalo ztmavením v určitých oblastech svařence a také byly pozorovány přetoky svarového kovu. Fotodokumentace odvaděče 1 je vyobrazena v příloze 1.



**Obr. 15** Oodvaděč 1\_sestava

○ **Parametry svařování**

Parametry svařování odvaděče 1 uvádí následující tabulka.

**Tab. 7** Parametry svařování

Svařovací parametry - MIKROPLAZMA	
Velikost svařovacího proudu [A]	24
Velikost svařovacího napětí [V]	11
Rychlost svařování [cm.min <sup>-1</sup> ]	30
Poloha svařování	PA
Plazmový plyn	Ar
Ochranný plyn	Ar+H <sub>2</sub>
Průměr netavící se elektrody [mm]	1

○ **Zkoušky svarového spojení**

Svarový spoj odvaděče 1 byl dále podroben následujícím zkouškám.

**Tab. 8** Zkoušky svarového spoje

Zkoušky svarového spoje				
č.	Zkouška	Prováděcí předpis	Požadavek dle předpisu	Zkušební teplota
1	Vizuální zkouška (VT)	ČSN EN 970	ČSN EN ISO 5817 Stupeň jakosti B	-
2	Penetrační zkouška (PT)	ČSN EN 571-1	ČSN EN 1289 Stupeň přípust. 1	+20 °C
3	Zkouška mikrotvrdosti	ČSN EN 1043-2	ČSN EN ISO 15614-11	+20 °C
4	Zkouška makrostruktury a mikrostruktury	ČSN EN 1321	ČSN EN ISO 15614-11 ČSN EN ISO 5817	+20 °C

Pozn. Výše popsané zkoušky svarových spojů byly provedeny na všech následujících odvaděčích. Jejich výpis nebude dále uváděn.

○ V ý s l e d k y z k o u š e k

**1. Vizuální zkouška (VT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- byly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**

**2. Penetrační zkouška (PT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- byly zjištěny trhliny
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**

**3. Zkouška mikrotvrdomosti**

- zátěž HV 0,1 (100g)
- umístění vpichů dle ČSN EN ISO 15 614-11
- vpichy byly provedeny v obou základních materiálech, v TOO a ve svar. kovu
- **výsledek zkoušky – maximální naměřená hodnota HV0,1 - 605**

Naměřené hodnoty mikrotvrdomosti jsou zaznamenány v příloze 30.

**3. Zkouška makrostruktury a mikrostruktury**

• **Zkoušky makrostruktury**

Vzorek byl nejdříve zarovnán, vybroušen, vyleštěn a naleptán v deseti procentním vodním roztoku kyseliny dusičné. Takto připravený vzorek byl zkoumán při dvaceti násobném zvětšení.

- na vzorku byly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**

- **Zkoušky mikrostruktury**

Vzorek byl dále broušen, leštěn a poté naleptán ve čtyř procentní kyselině dusičné a v alkoholu (NITAL). Dále byl vzorek zkoumán na metalografickém mikroskopu Neophot 21. Mikroskop je vybaven digitálním fotoaparátem, kterým byly také pořízené fotografie uvedené v příloze.

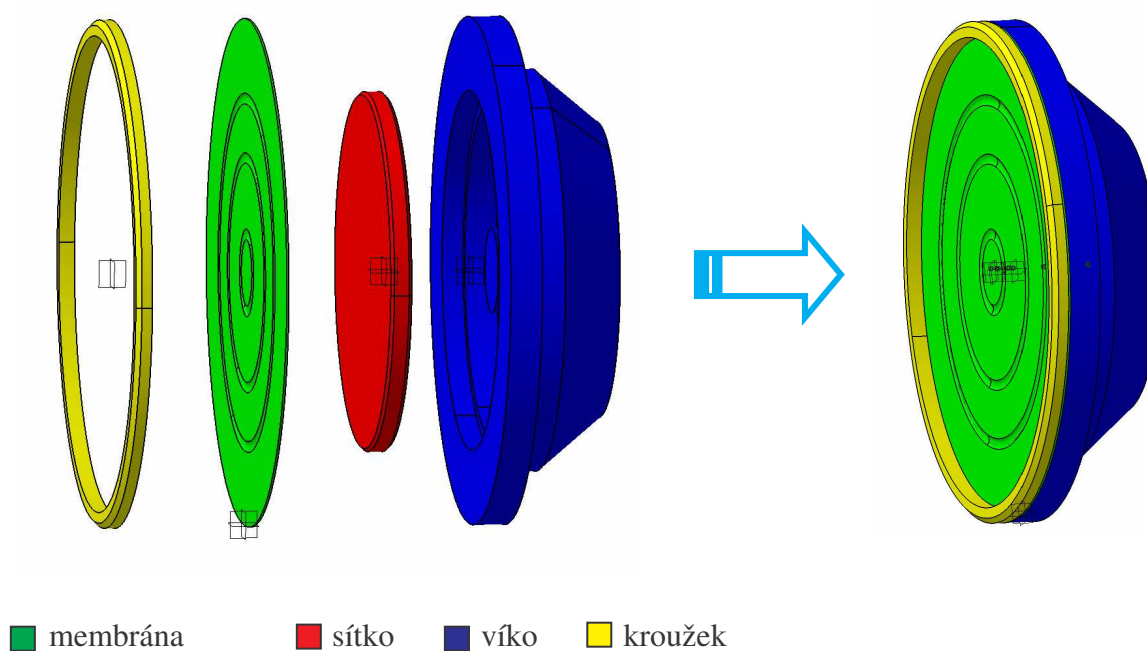
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 100 až 500x
- na vzorku byly zjištěny trhliny
- **výsledek zkoušky – výsledná struktura SK je martenzitická**

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 10 až 13.

*Pozn. Uvedený způsob přípravy vzorků pro zkoušky makrostruktury a mikrostruktury je shodný pravšechny následující vzorky.*

### 5.3. Svařování TIG – Odvaděč 2

Jednalo se o svaření totožných dílů jako u předchozího odvaděče tzn. membrány a víka. Pro zlepšení ustavení polohy membrány vůči víku byl navržen pomocný přitlačný kroužek viz. obr 16.



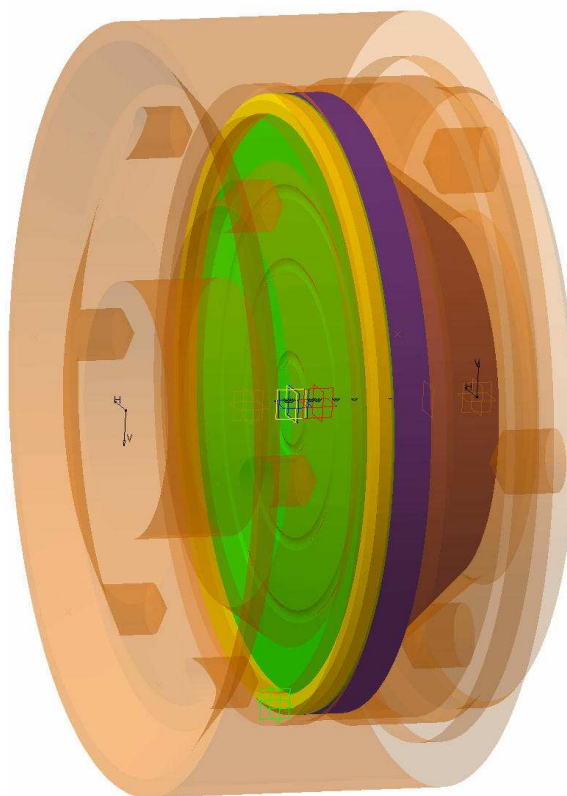
**Obr. 16 Odvaděč 2**

Před vlastním svařováním proběhla úprava svarových ploch:

- očištění
- odmaštění acetonem

a následně proběhlo stehování.

**Vlastní svařování** – obvodový tupý svarový spoj bez mezery. Svařování proběhlo s předehřevem na 150°C. Použitý svařovací zdroj – *Fronius Magic Wave 3000*. Průběh svařování se v porovnání s odvaděčem 1 zlepšil. Tepelné ovlivnění také nebylo tak výrazné jako u předchozí metody. Fotodokumentace odvaděče 2 je vyobrazena v příloze 2.



**Obr. 17** Odvaděč 2\_sestava

Při svařování byl použit přídatný materiál ve formě drátu - *OK TIGROD 316L*, parametry viz. tabulky č.9 a č.10.

**Tab. 9** Mechanické vlastnosti svarového kovu

OK TIGROD 316L		
Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu		
Nejnižší mez kluzu - $R_e$ [MPa]	Pevnost v tahu - $R_m$ [MPa]	Nejnižší tažnost - $A_5$ [%]
470	650	35

**Tab. 10** Chemické složení svarového kovu

OK TIGROD 316L								
Typické chemické složení čistého svarového kovu (%)								
C	Si	Mn	Cr	P	Ni	S	Mo	Cu
0,01	0,4	1,8	19	0,02	12,5	0,02	2,8	<0,3

○ Parametry svařování

Parametry svařování odvaděče 2 uvádí následující tabulka.

**Tab. 11** Parametry svařování metodou TIG

Svařovací parametry - TIG	
Velikost svařovacího proudu [A]	45
Velikost svařovacího napětí [V]	11,5
Rychlost svařování [ $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	25
Poloha svařování	PA
Průtok argonu [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	4
Průměr svařovacího drátu [mm]	1,6
Průměr netavící se elektrody [mm]	1,5

Následně byly prováděny totožné zkoušky svarového spoje jako na odvaděči 1.

○ Výsledky zkoušek

**1. Vizuální zkouška (VT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyly zjištěny větší vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

## **2. Penetrační zkouška (PT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyla zjištěna větší vada
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

## **3. Zkouška mikrotvrdomosti**

- zátěž HV 0,1 (100g)
- umístění vpichů dle ČSN EN ISO 15 614-11
- vpichy byly provedeny v obou základních materiálech, v obou TOO a ve svar. kovu
- **výsledek zkoušky – maximální naměřená hodnota HV0,1 - 598**

Naměřené hodnoty mikrotvrdomosti jsou zaznamenány v příloze 30.

## **3. Zkouška makrostruktury a mikrostruktury**

- **Zkoušky makrostruktury**
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 20x
- na vzorku je patrná velikost TOO a nebyly zpozorovány větší vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**
  
- **Zkoušky mikrostruktury**
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 100 až 500x
- **výsledek zkoušky – výsledná struktura SK je martenzitická**

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 14 až 17.



## 6. NÁVRH KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY A TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

### 6.1. Konstrukční úprava

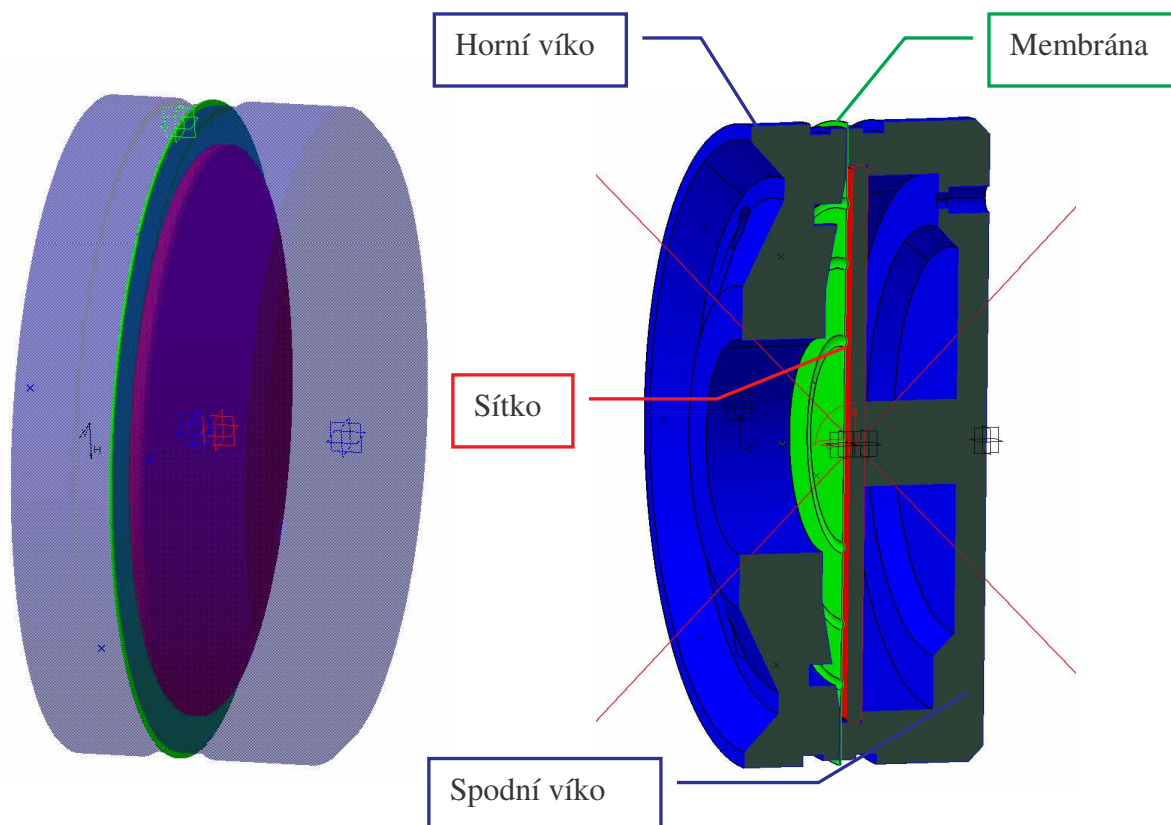
Výchozím parametrem pro změnu konstrukce termické vložky parního odvaděče bylo to, že nesmí dojít ke změně geometrických rozměrů membrány.

Proto na základě podobnosti stávající konstrukce byla navrhována konstrukční úprava základního tělesa vložky odvaděče tzn. víka. Velký důraz byl kladen na to, aby bylo možné jednoduchým a rychlým způsobem přivařit membránu k základnímu tělesu a samozřejmě také na to, aby nedošlo k funkční změně odvaděče. Pozměněná konstrukce se stává z nového spodního a horního víka mezi nimiž je membrána svařená viz. obr. 18.

#### **Nové díly:**

**Spodní víčko** – je rotační segment s dutinou, do kterého se následně přivede expanzní kapalina otvorem, který je v zadní části víka. Tento otvor je následně zavařen. Vnitřní dutina je osazena pro ustavení sítka, které zabraňuje vnikání nečistot. Po vnějším obvodu je proveden odlehčovací zápich. Výrobní výkres spodního víka je vyobrazen v příloze 33.

**Horní víko** – plní mimo jiné také přítlačnou funkci, tzn. že přitlačuje membránu k čelu spodního víka, na obvodě je také proveden odlehčovací zápich. Tento díl je opatřen vtokovými otvory, kterými prochází kapalina. Dále je díl opatřen montážním závitem M20, který je následně využit i pro polohování vzorku při svařování. Výrobní výkres spodního víka je vyobrazen v příloze 34.



Obr. 18 Upravená konstrukce

**Materiál víček:**

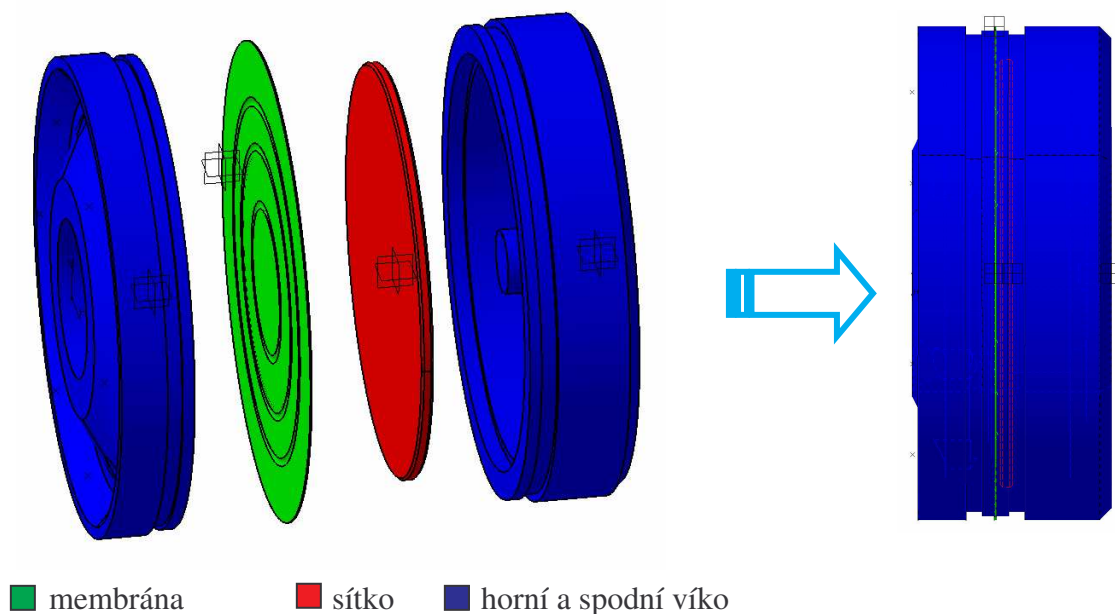
Materiál pro výrobu víček zůstává zachován tzn. ocel 17040. Ocel je poloferitická, feromagnetická, je dobře tvařitelná za tepla i za studena. **Je vhodná na namáhané zařízení, vystavená působením páry a vody.** Další charakteristiky materiálu jsou popsány v kapitole 5.1.

## 6.2. Návrh technologie svařování po konstrukční úpravě

Pro svařování upravené vložky odvaděče parního kondenzátu byly navrženy a po té i realizovány totožné metody svařování jako před konstrukční úpravou, tzn. svařování metodou **TIG** a svařování **MIKROPLAZMOU**.

### 6.2.1. Svařování TIG – odvaděč 3 a 4

Stejně jako u předchozích vzorků byl odvaděč 3 a 4 svařen obvodovým svarem. Ustavení odvaděče bylo pomocí navrhnutého polohovadla, které je blíže popsáno v kapitole 7.



**Obr. 19** Odvaděč 3

Před vlastním svařování proběhla úprava svarových ploch:

- očištění
- odmaštění acetonem

a následně proběhlo stehování.

**Vlastní svařování** – obvodový tupý svarový spoj bez mezery.

Svařování odvaděče č.3 proběhlo jako experiment bez předehřevu. Výsledek byl dle očekávání nevyhovující viz. blíže zkoušky svarů.

Svařování odvaděče č. 4 proběhlo s předehřevem na teplotu 150°C. Oba vzorky byly svařeny s použitím přídatného drátu. Použitý svařovací zdroj – *Fronius Magic Wave 3000*.

Přídavný materiál – NIFIL 625 viz. tabulky níže.

**Tab. 12** Mechanické vlastnosti svarového kovu

NIFIL 625		
Typické mechanické vlastnosti čistého svarového kovu		
<i>Nejnižší mez kluzu - Re [MPa]</i>	<i>Pevnost v tahu - Rm [MPa]</i>	<i>Nejnižší tažnost - A5 [%]</i>
>420	720 až 820	>30

**Tab. 13** Chemické složení svarového kovu

NIFIL 625								
Typické chemické složení čistého svarového kovu								
<i>C (%)</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>Nb</i>	<i>Ni</i>	<i>Fe</i>	<i>Mo</i>	<i>Ti</i>
<0,025	<0,5	<0,5	21	3,6	Rest.	<2	9	<0,4

Průběh svařování byl bez komplikací. Byly odstraněny předchozí problémy s polohováním vzorku. Fotodokumentaci odvaděčů 3 a 4 zobrazují přílohy 3 a 4.

#### ○ Parametry svařování

Parametry svařování odvaděčů 3 a 4 uvádí následující tabulka.

**Tab. 14** Parametry svařování metodou TIG

Svařovací parametry - TIG	
<i>Velikost svařovacího proudu [A]</i>	90
<i>Velikost svařovacího napětí [V]</i>	14,8
<i>Rychlost svařování [cm.min-1]</i>	30
<i>Poloha svařování</i>	PA
<i>Průtok argonu [l.min-1]</i>	5
<i>Průměr svařovacího drátu</i>	2
<i>Průměr netavící se elektrody [mm]</i>	1,5

Dále byly svarové spoje podrobeny zkouškám.

#### ○ Výsledky zkoušek – Odvaděč 3

##### 1. Vizuální zkouška (VT)

- rozsah zkoušení 100 %
- byly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**

## **2. Penetrační zkouška (PT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- byly zjištěny trhliny
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**

Výsledek penetrační zkoušky je vyobrazen v příloze 6.

## **3. Zkouška mikrotvrdosti**

- zátěž HV 0,1 (100g)
- umístění vpichů dle ČSN EN ISO 15 614-11
- vpichy byly provedeny v obou základních materiálech, v obou TOO a ve svar. kovu
- **výsledek zkoušky – maximální naměřená hodnota HV0,1 - 645**

Naměřené hodnoty mikrotvrdosti jsou zaznamenány v příloze 31.

## **3. Zkouška makrostruktury a mikrostruktury**

- **Zkoušky makrostruktury**
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 20x
- na vzorku byly zjištěny trhliny
- **výsledek zkoušky – nevyhovuje**
- **Zkoušky mikrostruktury**
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 100 až 500x
- **výsledek zkoušky – výsledná struktura SK je martenzitická**

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 18 až 21.

○ **V ý s l e d k y z k o u š e k – O d v a d ě ě 4**

**1. Vizuální zkouška (VT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

**2. Penetrační zkouška (PT)**

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

Výsledek penetrační zkoušky je vyobrazen v příloze 7.

**3. Zkouška mikrotvrlosti**

- zátěž HV 0,1 (100g)
- umístění vpichů dle ČSN EN ISO 15 614-11
- vpichy byly provedeny v obou základních materiálech, v obou TOO a ve svar. kovu
- **výsledek zkoušky – maximální naměřená hodnota HV0,1 - 614**

Naměřené hodnoty mikrotvrlosti jsou zaznamenány v příloze 31.

**3. Zkouška makrostruktury a mikrostruktury**

- **Zkoušky makrostruktury**
- zkoumaný vzorek byl zvětšen 20x
- na vzorku nebyly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

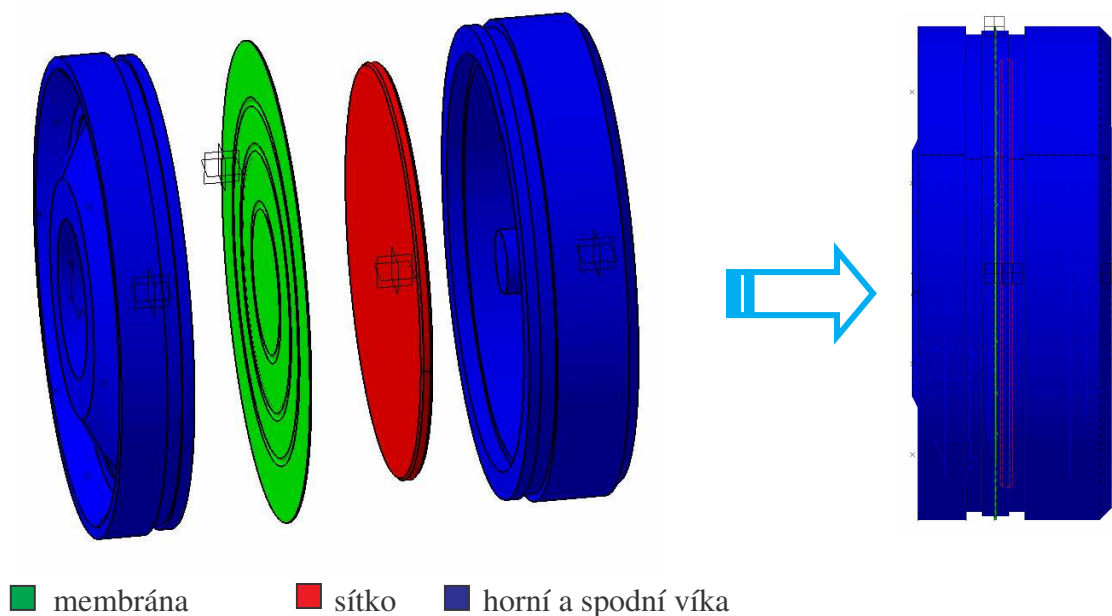
- **Zkoušky mikrostruktury**

- zkoumaný vzorek byl zvětšen 100 až 500x
- **výsledek zkoušky – výsledná struktura SK je martenzitická**

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 22 až 25.

### 6.2.2. Svařování MIKROPLAZMOU – odvaděč 5

Poslední odvaděč 5 pozměněné konstrukce byl svařen mikroplazmovou metodou svařování. Ustavení polohy proběhlo v navrhnutém polohovadle.



**Obr. 20** Odvaděč 5

Před vlastním svařování proběhla úprava svarových ploch:

- očištění
- odmaštění acetonem

a následně proběhlo stehování.

**Vlastní svařování** – obvodový tupý svarový spoj bez mezery.

Svařování odvaděče č.5 proběhlo s předehřevem na teplotu 150°C. Svařovalo se bez přídavného drátu. Průběh svařování byl bez komplikací. Použitý svařovací zdroj – *Inverter Microplasma 50*.

Fotodokumentace odvaděče 5 je vyobrazena příloze 5.

#### ○ Parametry svařování

Parametry svařování odvaděče 5 uvádí následující tabulka.

**Tab. 15** Parametry svařování

Svařovací parametry - MIKROPLAZMA	
Velikost svařovacího proudu [A]	32
Velikost svařovacího napětí [V]	17
Rychlost svařování [cm.min <sup>-1</sup> ]	30
Poloha svařování	PA
Plazmový plyn	Ar
Ochranný plyn	Ar+H <sub>2</sub>
Průměr netavící se elektrody [mm]	1

#### ○ Výsledky zkoušek

##### 1. Vizuální zkouška (VT)

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyly zjištěny větší vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**

##### 2. Penetrační zkouška (PT)

- rozsah zkoušení 100 %
- nebyly zjištěny vady
- **výsledek zkoušky – vyhovuje**



Výsledek penetrační zkoušky je vyobrazen v příloze 8.

### 3. Zkouška mikrotvrdosti

- zátěž HV 0,1 (100g)
- umístění vpichů dle ČSN EN ISO 15 614-11
- vpichy byly provedeny v obou základních materiálech, v obou TOO a ve svar. kovu
- **výsledek zkoušky – maximální naměřená hodnota HV0,1 - 635**

Naměřené hodnoty mikrotvrdosti jsou zaznamenány v příloze 32.

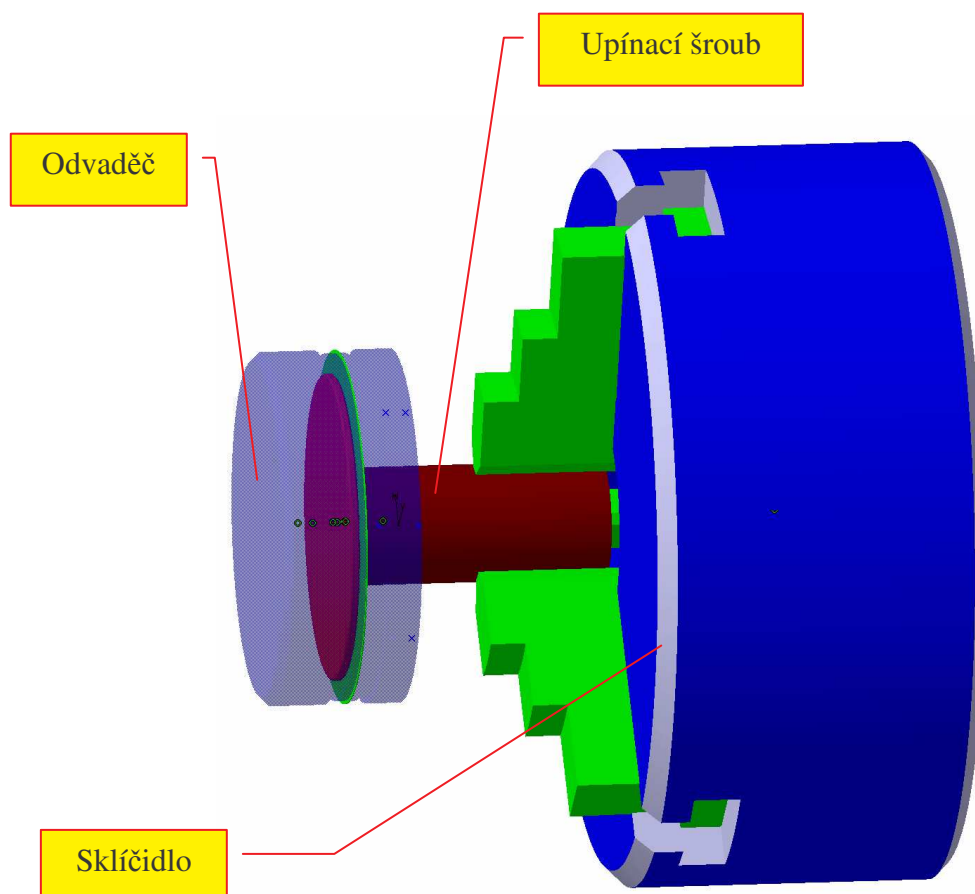
### 3. Zkouška makrostruktury a mikrostruktury

- **Zkoušky makrostruktury**
  - zkoumaný vzorek byl zvětšen 20x
  - na vzorku nebyly zjištěny vady
  - **výsledek zkoušky – vyhovuje**
- **Zkoušky mikrostruktury**
  - zkoumaný vzorek byl zvětšen 100 až 500x
  - na vzorku nebyly zjištěny vady
  - **výsledek zkoušky – výsledná struktura SK je martenzitická**

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 26 až 29.

## 7. NÁVRH POLOHOVADLA

Při návrhu polohovadla bylo hlavním cílem dosáhnout jednoduchého a rychlého způsobu polohování a následného svařování s ohledem na minimální vynaložené finanční prostředky. Proto bylo navrženo a použito osvědčené *tříčelist'ové sklíčidlo s válcovým středícím upínáním* - DIN 6350 – typ A.



**Obr. 21** Polohování při svařování

Do čelistí sklíčidla byl upnut dřík zakončený závitem M20, na který byl následně našroubován konstrukčně upravený odvaděč. Sklíčidlo se během svařování otáčí konstantními otáčkami. Po dokončení jedné otáčky je odvaděč obvodově svařen.

## **8. HODNOCENÍ SVAROVÝCH SPOJŮ Z POHLEDU JEJICH PRACOVNÍHO ZATÍŽENÍ**

Ověření spolehlivosti konstrukční úpravy a provedených svarových spojů probíhalo přímo v provozu několika firem. Nejvíce odvaděčů parního kondenzátu zkoušela v provozních podmínkách firma Sloznaft. Zde jsou odvaděče nasazeny na odvod kondenzátu z doprovodného potrubí. Byly použity odvaděče svařované technologií TIG s předehřevem. Pracovní podmínky odvaděče dle vyjádření firmy byly následující:

- *teplota kondenzátu: až 350°C*
- *tlak páry: 3,5MPa*
- *teplota kondenzátu za odvaděčem: cca 90°C*

Doba nejdéle pracujícího odvaděče po konstrukční úpravě navrženými technologiemi a parametry svařování je půl roku. Doposud je možné říci, že jeho provoz je bezproblémový.

Další z odvaděčů parního kondenzátu byly podrobeny provozním podmínkám na brněnském výstavišti. Bohužel ze tří nasazených odvaděčů došlo u dvou k selhání. Důvody selhání jsou ve stádiu prověřování pracovníků brněnského výstaviště a proto nemohou být uvedeny v diplomové práci. Použitá technologie těchto odvaděčů byla TIG bez předehřevu. S ohledem na výsledky zkoušek použité technologie se jeví jako jedna z možných příčin selhání právě použitá technologie svařování. Provozní doba těchto odvaděčů byla přibližně půl roku. Pracovní podmínky odvaděče byly následující:

- *teplota kondenzátu: až 170°C*
- *tlak páry: 0,8 MPa*
- *teplota kondenzátu za odvaděčem: cca 50°C*

Další odvaděče byly expedovány zákazníkovi, ale bohužel zatím nebyly uvedeny do provozu. Se zákazníkem jsme v trvalém kontaktu a budeme po uvedení do provozu průběh činnosti odvaděčů monitorovat a následně vyhodnocovat.

## 9. HODNOCENÍ A DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

### 9.1. Vyhodnocení stávající konstrukce

Pro požadovaný heterogenní svarový spoj mezi membránou a základním tělesem byly navrženy dvě metody svařování. Jedná se o metody TIG a svařování mikroplazmovým obloukem. Pro tyto metody byly navrženy konkrétní svařovací parametry včetně přídavných materiálů a ochranných plynů.

Po svaření byly na jednotlivých vzorcích provedeny nedestruktivní zkoušky (NDT) a také destruktivní zkoušky (DT). Tyto zkoušky byly provedeny v laboratořích VŠB – TU Ostrava. Uskutečněny byly dle příslušných prováděcích norem v požadovaném rozsahu.

*V diplomové práci jsou vzorky před konstrukční úpravou uváděny pod názvem **odvaděč 1 a odvaděč 2**.*

#### **O d v a d ě ě 1 :**

Byl proveden svarový spoj svařováním mikroplazmou. Tento spoj byl podroben nedestruktivní kontrole. Byly provedeny zkoušky vizuální a penetrační. Pomocí těchto zkoušek byla zjištěna velká pórovitost, proto je výsledek zkoušky nevyhovující. Pro úplnost byly dále provedeny destruktivní zkoušky mikrotvrdomosti, makrostruktury a mikrostruktury.

Pozn.:

*Tepelně ovlivněná oblast byla u všech odvaděčů 1 až 5 tak úzká, že vlastní měřením nebylo možné zjistit tvrdost HV10 v TOO. Bylo však nutné stanovit kritickou hodnotu tvrdosti, a proto bylo provedeno měření mikrotvrdomosti HV0,1.*

Na odvaděči 1 byla naměřená maximální hodnota mikrotvrdomosti v tepelně ovlivněné oblasti HV0,1 – 605 což je více než dvojnásobek v porovnání s hodnotou mikrotvrdomosti svarového kovu a základního materiálu.

Zkouška makrostruktury a mikrostruktury nevyhovuje z důvodu pórovitosti svarového spoje. Z výsledků provedených zkoušek nemůže být svarový spoj považován za vyhovující.

Naměřené hodnoty mikrotvrdomosti jsou zaznamenány v příloze 30.

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 10 až 13.

## **O d v a d ě ě 2 :**

Byl proveden obvodový svarový spoj pomocí svařovací technologie TIG. Pro lepší zajištění polohy membrány při svařování vůči základnímu tělesu byl navrhnut přitlačný kroužek. Vytvořený svarový spoj byl také podroben nedestruktivním zkouškám. Výsledek vizuální i penetrační zkoušky byl vyhovující.

I zde byl dále odvaděč zkoušen destruktivními metodami. Při měření mikrotvrdomosti byla maximální hodnota nepatrně nižší než u předchozího odvaděče.

Zkoušky makrostruktury a mikrostruktury byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Naměřené hodnoty mikrotvrdomosti jsou zaznamenány v příloze 30.

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 14 až 17.

## **9.2. V y h o d n o c e n í p o k o n s t r u k č n í ú p r a v ě**

V další části diplomové práce byla navržena a realizována konstrukční úprava stávající vložky odvaděče parního kondenzátu. Provedená konstrukční úprava, která je blíže popsána v bodě 6.1. se v průběhu svařování a zkoušení jevila jako zdařilá. Byly navrženy dva nové díly vložky odvaděče parního kondenzátu, pomocí kterých byly zcela odstraněny problémy s polohováním při svařování. Tyto problémy vznikaly zejména v důsledku velmi tenké membrány. Byl dodržen požadavek, že nesmí dojít ke změně funkčních vlastností odvaděče. V porovnání se starou konstrukcí můžeme říci, že došlo i ke snížení výrobní složitosti dílů. V této souvislosti došlo také k nemalé úspoře finančních prostředků vynaložených na výrobu jednotlivých dílů termické vložky odvaděče parního kondenzátu.

Byly také navrženy metody svařování pozměněné konstrukce odvaděče s konkrétními parametry svařování včetně návrhu polohovadla pro svařování.

I tyto vzorky byly dále podrobeny nedestruktivní a destruktivní kontrole svarových spojů. Byly provedeny zkoušky vizuální, penetrační, zkouška mikrotvrdomosti, zkoušky makrostruktury a mikrostruktury.

*V diplomové práci jsou vzorky po konstrukční úpravě uváděny pod názvem **odvaděč 3, odvaděč 4 a odvaděč 5.***

### **O d v a d ě ě 3 :**

Použitá technologie svařování odvaděče 3 byla TIG. Svařování proběhlo bez předehřevu v navrhnutém polohovadle. Svarový spoj byl podroben výše uvedeným zkouškám. Vizuální i penetrační zkouška odhalila přítomnost trhlin a proto byl výsledek zkoušek nevyhovující.

U zkoušky mikrotvrdosti se maximální naměřená hodnota významně nelišila od předcházejících vzorků.

Zkoušky makrostruktury a mikrostruktury prokázaly také přítomnost trhlin a proto zkoušky nevyhovují.

Naměřené hodnoty mikrotvrdosti jsou zaznamenány v příloze 31.

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 18 až 21.

### **O d v a d ě ě 4 :**

Stejně jako u předchozího odvaděče i zde byl vzorek svařen technologií TIG. Svařování proběhlo s předehřevem na teplotu 150°C. Po svařování byly realizovány zkoušky svarového spoje. Vizuální zkouška i penetrační zkouška vyhověla.

Maximální naměřená mikrotvrdost byla HV0,1 – 614. Zkoušky mikrostruktury a makrostruktury neprokázaly nepovolené vady.

Naměřené hodnoty mikrotvrdosti jsou zaznamenány v příloze 31.

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 22 až 25.

### **O d v a d ě ě 5 :**

Poslední vzorek byl svařen mikroplazmovým svařováním. Samotné svařování proběhlo s předehřevem na teplotu 150°C. Polohování bylo realizováno v navrhnutém polohovadle. Vizuální i penetrační kontrola byla vyhodnocena jako vyhovující. Hodnota maximální naměřené mikrotvrdosti byla HV0,1 – 632. Zkoušky mikrostruktury a makrostruktury neprokázaly nepovolené vady.

Naměřené hodnoty mikrotvrdosti jsou zaznamenány v příloze 31.

Fotodokumentace zkoušek makro a mikrostruktury je vyobrazena v přílohách 26 až 29.

Z hlediska výsledné struktury můžeme konstatovat, že se jednotlivé odvaděče svařované různými metodami svařování významně neliší. Pásmo přehřátí je charakteristické zhrubnutím zrna a můžeme říci, že struktura je martenzitická se sekundárními karbidy. V pásmu normalizace dochází postupně ke zjemňování zrna. Pásmo překrystalizace postupně přechází v základní feritickou strukturu s bodovými karbidy. Výsledná struktura svarového kovu je martenzitická.

## **10. Z Á V Ě R**

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout konstrukční úpravu termické vložky odvaděče parního kondenzátu a způsob svařování včetně návrhu polohování při svařování. V úvodní části je popsán princip činnosti odvaděče. Dále je proveden návrh a studie použitých svařovacích technologií včetně návrhu zkoušek vzniklého svarového spoje. Tato práce se v další části zabývá návrhem konstrukční úpravy stávající termické vložky odvaděče parního kondenzátu.

Vlastní realizace navržených metod svařování před i po konstrukční úpravě odvaděčů byla provedena na konkrétních vzorcích. Na všech vzorcích byl provedeny nedestruktivní a destruktivní zkoušky svarových spojů.

Vzorky svařované před konstrukční úpravou byly velmi obtížně svařitelné a výsledný svarový spoj byl nevyhovující. Vzorky s pozměněnou konstrukcí byly svařeny bez větších obtíží. Pro kvalitativní posouzení jsou takto svařené odvaděče testovány v provozních podmínkách různých firem. Z důvodu vysoké tvrdosti ve sledovaných pásmech svarového spoje a s ohledem na výslednou strukturu v těchto pásmech doporučuji provést svařování těchto membrán s vyšší teplotou přehřevu, která ve svých důsledcích povede ke snížení rychlosti ochlazování což může mít za následek snížení tvrdosti v kritických oblastech svarového spoje.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARTÁK, J., KOVAŘÍK, R., PILOUS, V., *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*, Ostrava, březen 2002
- [2] ONDREJČEK, P., *Svařování ocelí v ochraně plynů*, Bratislava 2003
- [3] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
- [4] BALEJ, Z., KUDĚLKA, V., Opletal, J., *Svařování metodou 141*, Zeross-svářečské nakladatelství Ostrava, 2004
- [5] WASGESTIANOVÁ, M., *Základy metalografické techniky*, Praha 1958
- [6] ČSN EN 1043-2, *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška tvrdosti – Část 2: Zkouška mikrotvrdosti svarových spojů*. Praha: Český normalizační institut, únor 1998.
- [7] ČSN EN 1321, *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Český normalizační institut, červenec 1998.
- [8] ČSN EN 571-1, *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, listopad 1998.
- [9] TURŇA, M., *Špeciálne metódy zvarania*. Bratislava: ALFA, 1989. 378 s. ISBN 80-05-00097-9.
- [10] MARTINEC, P., FOLDYNA, J., SITEK, L., ŠČUČKA, J., VAŠEK, J. 2002. *Abrasives for AWJ cutting*. INCO -COPERNICUS No. IC 15-CT98-0821. Institute of Geonics, Ostrava, ISBN 80-86407-02-0.
- [11] SITEK, L., FOLDYNA, J., NOVÁKOVÁ, D. 2001. Využití modulovaných vodních paprsků v aplikacích čištění a odstraňování povrchových vrstev. *Sborník přednášek XI. mezinárodního Symposia Sanace 2001*. SSBK Brno: pp. 397 – 405.
- [12] KUNCIPÁL, J., PILOUS, V., DUNOVSKÝ, J., *Nové technologie ve svařování*, SNTL Praha, 1984
- [13] KUBÍČEK, J., *Tepelné dělení kovů plazmovým paprskem*, Přednáška, VUT FSI Brno
- [14] KUČERA, J., *Teorie svařování*, Ostrava 1991
- [15] VEVERKA, J., *Odborné články – Svařování mikroplazmou*, Omnitechweld spol. s r.o.
- [16] KOMO, *Výrobní katalog 2008/2009*
- [17] FRONIUS, *Výrobní katalog 2007/2008*

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha 1</b>	Odvaděč 1 - Mikroplazma Obr. 1 Pohled 1 Obr. 2 Pohled 2 Obr. 3 Pohled 3
<b>Příloha 2</b>	Odvaděč 2 - TIG Obr. 4 Pohled 1 Obr. 5 Pohled 2 Obr. 6 Pohled 3
<b>Příloha 3</b>	Odvaděč 3 - TIG Obr. 7 Pohled 1 Obr. 8 Pohled 2 Obr. 9 Pohled 3
<b>Příloha 4</b>	Odvaděč 4 – TIG s předehřevem Obr. 10 Pohled 1 Obr. 11 Pohled 2 Obr. 12 Pohled 3
<b>Příloha 5</b>	Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem Obr. 13 Pohled 1 Obr. 14 Pohled 2 Obr. 15 Pohled 3
<b>Příloha 6</b>	Odvaděč 3 – TIG bez předehřevu Obr. 16 Odvaděč 3
<b>Příloha 7</b>	Odvaděč 4 – TIG s předehřevem Obr. 17 Odvaděč 4
<b>Příloha 8</b>	Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem Obr. 18 Odvaděč 5
<b>Příloha 9</b>	Vzorky pro metalografické zkoušky Obr. 19 Výbrusy odvaděčů 1 - 5
<b>Příloha 10</b>	Odvaděč 1 - Mikroplazma Obr. 20 Výbrus 1 (zvětšeno 2x)

- Obr. 21 Šířka TOO, výbrus 1 (zvětšeno 20x)
- Příloha 11** Odvaděč 1 - Mikroplazma
- Obr. 22 Šířka TOO, výbrus 1 (zvětšeno 20x)
- Obr. 23 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 1 (zvětšeno 500x)
- Příloha 12** Odvaděč 1 - Mikroplazma
- Obr. 24 Přejít svarového kovu do pásma TOO, výbrus 1 (zvětšeno 100x)
- Obr. 25 Přejít pásma TOO do základního materiálu, struktura tvořena martenzitickým základem a karbidy, výbrus 1 (zvětšeno 100x)
- Příloha 13** Odvaděč 1 - Mikroplazma
- Obr. 26 Základní materiál, struktura tvořena feritickým základem a sekundárními karbidy, výbrus 1 (zvětšeno 500x)
- Příloha 14** Odvaděč 2 - TIG
- Obr. 27 Výbrus 2 (zvětšeno 2x)
- Obr. 28 Šířka TOO, výbrus 2 (zvětšeno 20x)
- Příloha 15** Odvaděč 2 - TIG
- Obr. 29 Šířka TOO, výbrus 2 (zvětšeno 20x)
- Obr. 30 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 2 (zvětšeno 500x)
- Příloha 16** Odvaděč 2 - TIG
- Obr. 31 Přejít svarového kovu do pásma TOO, výbrus 1 (zvětšeno 100x)
- Obr. 32 Přejít pásma TOO do základního materiálu, struktura tvořena martenzitickým základem a karbidy, výbrus 2 (zvětšeno 100x)
- Příloha 17** Odvaděč 2 - TIG
- Obr. 33 Základní materiál, struktura tvořena feritickým základem a sekundárními karbidy, výbrus 2 (zvětšeno 500x)
- Příloha 18** Odvaděč 3 - TIG
- Obr. 34 Výbrus 3 (zvětšeno 2x)
- Obr. 35 Šířka TOO, výbrus 3 (zvětšeno 20x)
- Příloha 19** Odvaděč 3 - TIG
- Obr. 36 Šířka TOO, výbrus 3 (zvětšeno 20x)
- Obr. 37 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 3 (zvětšeno 500x)
- Příloha 20** Odvaděč 3 - TIG

- Obr. 38 Přejchod svarového kovu do pásma TOO, výbrus 3 (zvětšeno 200x)
- Obr. 39 Přejchod svarového kovu do pásma TOO, výbrus 3 (zvětšeno 100x)
- Příloha 21** Odvaděč 3 - TIG
- Obr. 40 Přejchod pásma TOO do základního materiálu, struktura tvořena martenzitickým základem a karbidy, výbrus 3 (zvětšeno 100x)
- Obr. 41 Základní materiál, struktura tvořena feritickým základem a sekundárními karbidy, výbrus 3 (zvětšeno 500x)
- Příloha 22** Odvaděč 4 – TIG s předehřevem
- Obr. 42 Výbrus 4 (zvětšeno 2x)
- Obr. 43 Šířka TOO, výbrus 4 (zvětšeno 20x)
- Příloha 23** Odvaděč 4 – TIG s předehřevem
- Obr. 44 Šířka TOO, výbrus 4 (zvětšeno 20x)
- Obr. 45 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 4 (zvětšeno 500x)
- Příloha 24** Odvaděč 4 – TIG s předehřevem
- Obr. 46 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 4 (zvětšeno 500x)
- Obr. 47 Přejchod svarového kovu do pásma TOO, výbrus 4 (zvětšeno 100x)
- Příloha 25** Odvaděč 4 – TIG s předehřevem
- Obr. 48 Přejchod pásma TOO do základního materiálu, struktura tvořena martenzitickým základem a karbidy, výbrus 4 (zvětšeno 100x)
- Obr. 49 Základní materiál, struktura tvořena feritickým základem a sekundárními karbidy, výbrus 4 (zvětšeno 500x)
- Příloha 26** Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem
- Obr. 50 Výbrus 5 (zvětšeno 2x)
- Obr. 51 Šířka TOO, výbrus 5 (zvětšeno 20x)
- Příloha 27** Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem
- Obr. 52 Šířka TOO, výbrus 5 (zvětšeno 20x)
- Obr. 53 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 5 (zvětšeno 500x)
- Příloha 28** Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem
- Obr. 54 Svarový kov a oblast zhrublého zrna, martenzitická struktura, výbrus 5 (zvětšeno 500x)
- Obr. 55 Přejchod svarového kovu do pásma TOO, výbrus 5 (zvětšeno 100x)

- Příloha 29**    Odvaděč 5 – Mikroplazma s předehřevem  
Obr. 56 Přejít pásma TOO do základního materiálu, struktura tvořena martenzitickým základem a karbidy, výbrus 5 (zvětšeno 100x)  
Obr. 57 Základní materiál, struktura tvořena feritickým základem a sekundárními karbidy, výbrus 4 (zvětšeno 500x)
- Příloha 30**    Odvaděč 1 / Odvaděč 2  
Graf 1 Průběh mikrotvrdosti - výbrus 1  
Graf 2 Průběh mikrotvrdosti - výbrus 2
- Příloha 31**    Odvaděč 3 / Odvaděč 4  
Graf 3 Průběh mikrotvrdosti - výbrus 3  
Graf 4 Průběh mikrotvrdosti - výbrus 4
- Příloha 32**    Odvaděč 5  
Graf 5 Průběh mikrotvrdosti - výbrus 5
- Příloha 33**    Spodní přitlačné víčko, číslo výkresu 001
- Příloha 34**    Horní přitlačné víčko, číslo výkresu 002
- Příloha 35**    Vložka odvaděče, číslo výkresu 003